

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Escola de Engenharia

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais

(PPGE3M)

**USO DE VARIÂNCIA DE EXTENSÃO NA AMOSTRAGEM DOS
PARÂMETROS DE ÁGUAS MINERAIS**

Thays de Souza João Luiz

Tese para obtenção do Título de Doutor em Engenharia

Porto Alegre, RS

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Escola de Engenharia

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais
(PPGE3M)

**USO DE VARIÂNCIA DE EXTENSÃO NA AMOSTRAGEM DOS
PARÂMETROS DE ÁGUAS MINERAIS**

Thays de Souza João Luiz

Trabalho realizado no Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM para obtenção do título de Doutor

Área de Concentração: Tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia Extrativa

Porto Alegre, RS

2021

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do título de Doutor em Engenharia, área de concentração Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro e aprovado em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Jair Carlos Koppe

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Neymayer Pereira Lima

Prof. Dr^a Vanessa Cerqueira Koppe

Prof. Dr^a Vlândia Cristina Gonçalves Souza

Prof. Dr. Afonso Reguly

Coordenador do PPGEM

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese à minha mãe que foi e continua sendo a fonte de inspiração para todos os meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família pelo apoio. Agradeço ao Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN) e ao meu orientador por toda paciência e suporte ao longo destes anos.

Também agradeço ao professor Dr. Arthur Pinto Chaves (meu orientador de iniciação científica na Poli) e ao professor Dr. Antonio Stellin (meu orientador de mestrado) que me apresentaram o professor Dr. Jair Carlos Koppe.

Agradeço às filhas dos meus orientadores de Mestrado e Doutorado, respectivamente: Professora Dra. Maria Renata Machado Stellin e Professora Dra. Vanessa Cerqueira Koppe.

Agradeço a professora Dra. Vlândia Cristina Gonçalves de Souza pela coorientação e pelo professor Dr. João Felipe Coimbra Costa Leite pela ajuda na tese e paciência ao longo desses anos.

Agradeço, também, aos seguintes professores do Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo da Escola Politécnica da USP por me animarem e me incentivarem: Prof. Dr. Maurício Guimarães Bergerman, Prof. Dra. Ana Carolina Chierigati, Prof. Dra. Carina Ulsen, Prof. Dennis Travagini Cremonese, Prof. Dr. Lineu Azuaga Ayres da Silva e Prof. Anna Luiza Marques Ayres da Silva.

À minha amada amiga angolana Bernardina Jambo Buta pelo incentivo de mais 20 anos.

Agradeço aos meus 42 alunos do curso de Pós-Graduação em Empreendedorismo e Inovação nas Engenharias, da turma de 2020-2021. E também aos idealizadores do curso, aos tutores do curso e a todos os professores do convênio CREA-SP/UNESP/UNIVESP.

Agradeço a minha irmã Gabriella Alves de Souza Nunes pelo suporte e paciência.

Agradeço a empresa de consultoria Minergeo Assessoria e Projetos, os geólogos José João Matta e Anderson Lima, geólogos sem os quais, não seria possível tornar esta tese viável, pois não teria tido a oportunidade de ingressar no mercado de águas minerais.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMO	18
ABSTRACT	20
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	22
1.1 Introdução.....	22
1.2 Meta.....	27
1.3 Objetivos.....	27
1.4 Metodologia.....	30
1.5 Estado da Arte	33
1.6 Organização da Tese.....	35
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	37
2.1 Amostragem de Água	37
2.2 Classificação das Águas Minerais	43
2.3 Valores Máximos e Mínimos para os parâmetros de qualidade da água.....	45
2.3 Geoestatística e variáveis regionalizadas.....	48
2.4 O Princípio de Estacionaridade e a Função Variograma.....	50
2.5 Os componentes do semivariograma.....	53
2.6 Cálculo dos variogramas experimentais com distribuição regular	56
2.7 Cálculo dos variogramas experimentais com distribuição irregular.....	57
2.8 Tipos de Variogramas.....	59
2.9 O Conceito de Suporte e de Mudança de Suporte	64
2.10 Variância de Extensão	69
2.10.1 Dedução do Conceito de Variância de Extensão.....	69
2.10.2 Aplicação Prática do Conceito de Variância de Extensão.....	71
2.11 O Fator de Variação de Pearson ou Desvio Padrão Relativo	73
2.12 O modelo Gaussiano: a distribuição normal de probabilidade	75
2.13 Erros relativos de amostragem	77
2.14 Suficiência amostral	79
2.15 Matriz de Correlação	80
2.16 Conceito de Heterogeneidade da Teoria de Amostragem aplicado à Água Mineral ..	82
2.17 Erros de Amostragem segundo Teoria de Amostragem aplicados à Água Mineral ...	83

2.17.1 Conceito de Erro Fundamental.....	83
2.18 Diagrama de Piper	87
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....	89
3.1 Alíquotas mínimas.....	89
3.2 Metodologia de coleta	89
3.3 Variância de extensão para as captações	95
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	98
4.1 Sumário Estatístico das Fontes.....	98
4.2 Discussões sobre os dados do sumário estatístico das fontes	105
4.3 Correlação entre os parâmetros de qualidade da água.....	107
4.4 Discussão sobre a correlação entre os parâmetros de qualidade da água	111
4.5 Variogramas do Fluoreto para as Fontes	113
4.6 Discussão sobre os variogramas do Fluoreto	117
4.7 Resultados do cálculo da variância de extensão para as Bactérias Heterotróficas	120
4.8 Resultados do cálculo da variância de extensão para os elementos químicos e físico-químicos das oito fontes amostradas	122
4.9 Discussões sobre os resultados do cálculo da variância de extensão para os parâmetros de qualidade de águas minerais analisados.....	141
4.10 Variância de extensão para as fontes em que foram removidas as duplicatas.....	142
4.11 Análise da heterogeneidade das fontes de água com base na fórmula de Pierre Gy	149
4.12 Número mínimo de amostras recomendado	164
4.13 Diagrama de Piper e a explicação sobre a correlação dos parâmetros de qualidade das águas subterrâneas.....	177
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES	211
5.1 Contribuições e objetivos alcançados.....	211
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	212
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	213
ANEXOS.....	225
A - RESULTADOS DAS ANÁLISES.....	226
B - HISTOGRAMAS DOS PARÂMETROS DAS FONTES	239
B.1 Histogramas da Fonte Santo Antonio	239
B.2 Histogramas da Fonte Sonja	243
B.3 Histogramas da Fonte Santa Lúcia	248
B.4 Histogramas da Fonte Primavera.....	252
B.5 Histogramas da Fonte Juliana	256

A.6 Histogramas da Fonte Verônica.....	261
B.7 Histogramas da Fonte Água Santa.....	266
B.8 Histogramas da Fonte Ycuara.....	270
B.9 Histogramas da Fonte Maestro.....	274
C – PARÂMETROS USADOS NA VARIOGRAFIA DAS FONTES.....	275
C.1 - PARAMETROS PARA TODAS AS FONTES.....	275
C.2 - PARAMETROS PARA COMPARAR AS FONTES COM E SEM DUPLICATAS.....	280
D - MEMORIAL DE CÁLCULO DA VARIÂNCIA DE EXTENSÃO – TODAS AS FONTES.....	284
D.1 Fonte Santo Antonio.....	285
D.2 Fonte Sonja.....	290
D.3 Fonte Santa Lúcia.....	295
D.4 Fonte Primavera.....	299
D.5 Fonte Juliana.....	303
D.6 Fonte Verônica.....	308
D.7 Fonte Água Santa.....	313
D.8 Fonte Ycuara.....	317
D.9 Fonte Maestro.....	321
E - MEMORIAL DE CÁLCULO DA VARIÂNCIA DE EXTENSÃO – FONTES COM AS DUPLICATAS REMOVIDAS.....	322
E.1 Fonte Santo Antonio.....	323
E.2 Fonte Sonja.....	327
E.3 Fonte Verônica.....	332

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Diferença entre a amostragem das águas envasadas e a amostragem na indústria mineral.	23
Figura 1.2 – Redução de volumes no processo de águas envasadas	24
Figura 1.3 – Fluxograma da Metodologia usada na Tese	32
Figura 2.1 – Exemplo de um semivariograma com seus parâmetros C0 (efeito pepita), C1 (variância estrutural) e a corresponde ao alcance.	53
Figura 2.2 – Gráfico esquemático da função semivariograma.	54
Figura 2.3 – Semivariograma experimental e os seus parâmetros.	55
Figura 2.4 – As propriedades básicas da covariância e do variograma para a estacionariedade de segunda ordem.	56
Figura 2.5 – Amostras regularmente espaçadas em duas dimensões.	56
Figura 2.6 – Ilustração para o cálculo do semivariograma a partir de amostras regularmente espaçadas.	57
Figura 2.7 – Parâmetros para o cálculo do semivariograma a partir de amostras irregularmente espaçadas em duas dimensões.	58
Figura 2.8 – Comportamento do variograma na origem. a) Parabólico b) Linear c) Efeito Pepita e d) Efeito Pepita Puro.	60
Figura 2.9 – Comparação entre os modelos exponencial, esférico e gaussiano.	61
Figura 2.10 – Modelo de variograma tipo cúbico.	62
Figura 2.11 – Modelo de variograma tipo efeito buraco modelado pela função seno.	63
Figura 2.12 – Exemplo de semivariograma pentaesférico.	64
Figura 2.13 – Suportes nas dimensões 1D, 2D e 3D em diferentes aplicações	66
Figura 2.14 – Efeito do tamanho do volume (tamanho do suporte) no histograma.	67
Figura 2.15: Conceitos pertencentes à variância de extensão	73
Figura 2.16: Quadro sobre as características da distribuição Normal.	76
Figura 2.17: Gráfico da curva normal com algumas características.	77
Figura 2.18: Diagrama de Piper.	88
Figura 4.1 – Variograma para o fluoreto da Fonte Santo Antonio	113
Figura 4.2 – Variograma para o fluoreto da Fonte Sonja	113
Figura 4.3 – Variograma para o fluoreto da Fonte Santa Lúcia	114

Figura 4.4 – Variograma para o fluoreto da Fonte Verônica	114
Figura 4.5 – Variograma para o fluoreto da Fonte Juliana	115
Figura 4.6 – Variograma para o fluoreto da Fonte Primavera	115
Figura 4.7 – Variograma para o fluoreto da Fonte Água Santa	116
Figura 4.8 – Variograma para o fluoreto da Fonte Ycuara	116
Figura 4.9 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para as Bactérias Heterotróficas da Fonte Maestro para IC= 64% e IC= 99,9%	121
Figura 4.10 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Santo Antonio com IC = 64% e IC = 99,9%	132
Figura 4.11 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Sonja com IC = 64% e IC = 99,9%	133
Figura 4.12 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Santa Lúcia com IC = 64% e IC = 99,9%	134
Figura 4.13 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Primavera com IC = 64% e IC = 99,9%	135
Figura 4.14 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Juliana com IC = 64% e IC = 99,9%	136
Figura 4.15 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Verônica com IC = 64% e IC = 99,9%	137
Figura 4.16 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Água Santa com IC = 64% e IC = 99,9%	138
Figura 4.17 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Ycuara com IC = 64% e IC = 99,9%	139
Figura 4.18 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para o fluoreto das 8 fontes analisadas com IC = 64% e IC = 99,9%	140
Figura 4.19 – Gráfico de Correlação entre os parâmetros de qualidade da Fonte Santo Antonio depois que os parâmetros foram normalizados	161
Figura 4.20 – Erro de Amostragem em função do número de amostras para o fluoreto de todas as fontes	167
Figura 4.21 – Erro de Amostragem em função do número de amostras para os parâmetros da Fonte Santo Antonio	167

Figura 4.22 – Gráfico de diferença dos dados em relação à média das amostras conforme o número N de amostras coletadas	168
Figura 4.23 – Gráfico de diferença das médias para a alcalinidade da Fonte Santo Antonio	169
Figura 4.24 – Gráfico de diferença das médias para o cálcio da Fonte Santo Antonio	170
Figura 4.25 – Gráfico de diferença das médias para o cloreto da Fonte Santo Antonio	171
Figura 4.26 – Gráfico de diferença das médias para a condutividade da Fonte Santo Antonio	172
Figura 4.27 – Gráfico de diferença das médias para o fluoreto da Fonte Santo Antonio	173
Figura 4.28 – Gráfico de diferença das médias para o magnésio da Fonte Santo Antonio	174
Figura 4.29 – Gráfico de diferença das médias para o pH da Fonte Santo Antonio	175
Figura 4.30 – Gráfico de diferença das médias para o sódio da Fonte Santo Antonio	176
Figura 4.31 – Diagrama de Piper para a Fonte Santo Antonio para o ano de 1988	186
Figura 4.32 – Diagrama de Piper para a Fonte Santo Antonio para o ano de 2001	187
Figura 4.33 – Diagrama de Piper para a Fonte Santo Antonio para o ano de 2005	188
Figura 4.34 – Diagrama de Piper para a Fonte Santo Antonio para o ano de 2006	189
Figura 4.35 – Diagrama de Piper para a Fonte Santo Antonio para o ano de 2009	190
Figura 4.36 – Diagrama de Piper para a Fonte Santo Antonio para o ano de 2013	191
Figura 4.37 – Diagrama de Piper para a Fonte Santo Antonio para o ano de 2016	192
Figura 4.38 – Diagrama de Piper para a Fonte Sonja para o ano de 1986	193
Figura 4.39 – Diagrama de Piper para a Fonte Sonja para o ano de 1997	194
Figura 4.40 – Diagrama de Piper para a Fonte Sonja para o ano de 2000	195
Figura 4.41 – Diagrama de Piper para a Fonte Sonja para o ano de 2006	196
Figura 4.42 – Diagrama de Piper para a Fonte Sonja para o ano de 2010	197
Figura 4.43 – Diagrama de Piper para a Fonte Sonja para o ano de 2013	198
Figura 4.44 – Diagrama de Piper para a Fonte Sonja para o ano de 2016	199
Figura 4.45 – Diagrama de Piper para a Fonte Santa Lúcia para o ano de 2018	200
Figura 4.46 – Diagrama de Piper para a Fonte Primavera para o ano de 2017	201

Figura 4.47 – Diagrama de Piper para a Fonte Juliana para o ano de 2010	202
Figura 4.48 – Diagrama de Piper para a Fonte Juliana para o ano de 2014	203
Figura 4.49 – Diagrama de Piper para a Fonte Verônica para o ano de 2010	204
Figura 4.50 – Diagrama de Piper para a Fonte Verônica para o ano de 2014	205
Figura 4.51 – Diagrama de Piper para a Fonte Água Santa para o ano de 2018	206
Figura 4.52 – Diagrama de Piper para a Fonte Ycuara para o ano de 2018	207

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação da água mineral quanto à sua composição química	43
Tabela 2.2 – Classificação das fontes de água mineral quanto aos gases e quanto à temperatura	44
Tabela 2.3 – Parâmetros vigentes do LAMIN da Portaria 540 do DNPM e da Portaria 2914 do Ministério da Saúde.	46
Tabela 2.4 – Tipos de correlação	81
Tabela 3.1 – Características das fontes analisadas	91
Tabela 3.2 – Parâmetros a serem analisados por variografia conforme o poço amostrado.	95
Tabela 4.1 Sumário estatístico para a Fonte Santo Antonio	99
Tabela 4.2 Sumário estatístico para a Fonte Sonja	99
Tabela 4.3 Sumário estatístico para a Fonte Santa Lúcia	100
Tabela 4.4 Sumário estatístico para a Fonte Juliana	100
Tabela 4.5 Sumário estatístico para a Fonte Verônica	101
Tabela 4.6 Sumário estatístico para a Fonte Primavera	101
Tabela 4.7 Sumário estatístico para a Fonte Água Santa	102
Tabela 4.8 Sumário estatístico para a Fonte Ycuara	102
Tabela 4.9 Sumário estatístico para a Fonte Maestro	103
Tabela 4.10. Classificação dos parâmetros de qualidade quanto à assimetria	105
Tabela 4.11 – Matriz correlação Fonte Santo Antonio	108
Tabela 4.12 – Matriz correlação Fonte Sonja	108
Tabela 4.13 – Matriz correlação Fonte Santa Lúcia	108
Tabela 4.14 – Matriz correlação Fonte Juliana	109
Tabela 4.15 – Matriz correlação Fonte Verônica	109
Tabela 4.16 – Matriz correlação Fonte Primavera	109
Tabela 4.17 – Matriz correlação Fonte Água Santa	110
Tabela 4.18 – Matriz correlação Fonte Ycuara	110
Tabela 4.19 – Parâmetros dos variogramas do fluoreto para as 8 fontes analisadas	118

Tabela 4.20 – Erro relativo das Bactérias Heterotróficas da Fonte Maestro com IC = 64% e IC = 99,9%	121
Tabela 4.21 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Santo Antonio com IC = 64% e IC = 99,9%	122
Tabela 4.22 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Sonja com IC = 64% e IC = 99,9%	123
Tabela 4.23 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Santa Lúcia com IC = 64% e IC = 99,9%	125
Tabela 4.24 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Primavera com IC = 64% e IC = 99,9%	126
Tabela 4.25 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Juliana com IC = 64% e IC = 99,9%	127
Tabela 4.26 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Verônica com IC = 64% e IC = 99,9%	128
Tabela 4.27 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Água Santa com IC = 64% e IC = 99,9%	129
Tabela 4.28 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Ycuara com IC = 64% e IC = 99,9%	130
Tabela 4.29 – Erro relativo do fluoreto para as 8 fontes com IC = 64% e IC = 99,9%	131
Tabela 4.30– Erro relativo dos parâmetros da Fonte Sonja com IC = 64% e IC = 99,9% - com e sem a presença de duplicatas	145
Tabela 4.31 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Santo Antonio com IC = 64% e IC = 99,9% - com e sem a presença de duplicatas	146
Tabela 4.32 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Verônica com IC = 64% e IC = 99,9% - com e sem a presença de duplicatas	148
Tabela 4.33 – Teores do cloreto e sódio da Fonte Santo Antonio	154
Tabela 4.34 – Cálculo do h_i , CH_L , IH_L e variância do erro fundamental ($\sigma^2(FE)$) para o cloreto	155
Tabela 4.35 – Cálculo do h_i , CH_L , IH_L e variância do erro fundamental ($\sigma^2(FE)$) para o sódio	156
Tabela 4.36 – Tabela auxiliar para normalizar os teores de cloreto e sódio	157
Tabela 4.37 – Cálculo do melhor intervalo de coleta para o cloreto por meio da análise da contribuição do efeito pepita	158
Tabela 4.38 – Cálculo do melhor intervalo de coleta para o sódio por meio da análise da contribuição do efeito pepita	159

Tabela 4.39 – Correlação entre os parâmetros de qualidade da Fonte Santo Anto Antonio antes da normalização	160
Tabela 4.40 – Análises do LAMIN para a Fonte Sonja	178
Tabela 4.41 – Análises do LAMIN para a Fonte Santo Antonio	180
Tabela 4.42 – Análises do LAMIN para a Fonte Primavera	180
Tabela 4.43 – Análises do LAMIN para a Fonte Santa Lúcia	180
Tabela 4.44 – Análises do LAMIN para a Fonte Juliana	182
Tabela 4.45 – Análises do LAMIN para a Fonte Verônica	183
Tabela 4.46 – Análises do LAMIN para a Fonte Ycuara	183
Tabela 4.47 – Análises do LAMIN para a Fonte Água Santa	184
Tabela 4.48 – Classificação segundo Diagrama de Piper e parâmetros com maior grau de correlação	208

LISTA DE ABREVIATURAS

ANM	Agência Nacional de Mineração
ANVISA	Agência de Vigilância Sanitária
°C	Graus Celsius
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
cm	Centímetro
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DOU	Diário Oficial da União
E	Esperança matemática
EPA	Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos).
GSLib	Geostatistics Software Library
LAMIN	Laboratório de Mineração
LQ	Limite de quantificação
km	Quilômetros
m	Metros
Mache	Unidade de radioatividade
µg/L	Microgramas por litro
mg/L	Miligramas por litro
mL	Mililitros
mm	Milímetros
mm de Hg	Milímetros de mercúrio
MME	Ministério de Minas e Energia

MS	Ministério da Saúde
PET	Polietileno tereftalato
pH	Potencial Hidrogeniônico
POP	Procedimento Operacional Padrão
<i>Proc. Int.</i>	Procedimento Interno
®	Símbolo para marca registrada
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
S	Siemens
μS	Micro-Siemens
μS/cm	Micro-Siemens por centímetro
SGeMS	Standford Geostatistical Modelling Software
SM	Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater
SMEWW	Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater
UFC	Unidades Formadoras de Colônias
VMP	Valor Máximo Permitido

RESUMO

A amostragem de águas subterrâneas sempre foi um tema muito importante, ainda mais quando as águas subterrâneas são destinadas ao engarrafamento para consumo humano e/ou quando estas águas são usadas para fins recreativos ou balneários. A legislação sobre águas minerais vigente no país estabelece um número muito pequeno de amostras a serem coletadas para garantir a classificação da água mineral. O número de amostras coletadas atualmente para classificação da água mineral da captação não é representativo do ponto de vista estatístico.

O presente trabalho propõe o uso da variância de extensão para determinação do melhor intervalo de coleta de diversos parâmetros de qualidade de fontes de águas minerais. Esse melhor intervalo de coleta é aquele em que a média do parâmetro analisado mais a incerteza seja maior que o limite de detecção ou limite químico, e que a média mais a incerteza seja menor que o máximo valor permitido para o parâmetro.

O uso da variância de extensão que é uma ferramenta de extrema importância da área de Geoestatística foi importante na determinação do número mínimo de amostras e do intervalo de coleta das amostras para este trabalho. Além disso, trata-se de uma técnica que pode trazer mais segurança na classificação completa dos parâmetros de qualidade das águas minerais.

Apesar das fontes analisadas terem classificações químicas diferentes, segundo os padrões do LAMIN – Rede de Laboratórios de Análises Minerais, foi possível a escolha de alguns parâmetros mais importantes da sua composição de forma a fazer o estudo da variabilidade. Com base no estudo da variabilidade destes parâmetros analisados por meio da variância de extensão foi possível determinar o número mínimo de amostras para estes parâmetros e para os outros parâmetros que a empresa envasadora de águas minerais deseje monitorar.

Neste estudo foram feitas análises laboratoriais para um conjunto pequeno de parâmetros químicos, físico-químicos e microbiológicos de 16 fontes de águas minerais. As análises foram feitas considerando estações climáticas para que se pudesse entender a variabilidade temporal destes parâmetros. As amostras provenientes das captações e os produtos finais foram analisados conforme sua disponibilidade nos estabelecimentos comerciais e nas empresas envasadoras de água mineral.

O teor de fluoreto na água foi o fator determinante do melhor intervalo de coleta para as oito fontes. O uso de dados com duplicatas para calcular a variância de extensão, a realização do teste de heterogeneidade com base na Teoria de Pierre Gy e o estudo da contribuição do efeito pepita

na amostragem resultou na adoção de um intervalo de coleta igual a 128 dias (ou aproximadamente 4 meses) para as fontes de águas minerais de forma a minimizar os erros de amostragem e garantir a classificação da água mineral como fluoretada para as fontes estudadas.

Palavras-Chave: água mineral, parâmetros físico-químicos, químicos, microbiológicos, variância de extensão.

ABSTRACT

Groundwater sampling has always been a very important issue, especially when groundwater is intended for bottling for human consumption and / or when these waters are used for recreational or bathing purposes. The legislation on mineral waters in force in the country establishes a very small number of samples to be collected to guarantee the classification of mineral water. The number of samples currently collected for classification of the mineral water from the collection points is not statistically representative.

The present work proposes the use of extension variance to determine the best sampling interval for several quality parameters of mineral water sources. This best sampling interval is one in which the mean of the analyzed parameter plus the uncertainty is greater than the detection limit or chemical limit, and the mean plus the uncertainty is less than the maximum allowed value for the parameter.

The use of extension variance, which is an extremely important tool in Geostatistics, was important in determining the minimum number of samples and the sampling interval for this work. In addition, it is a technique that can bring more security to the complete classification of the quality parameters of mineral waters.

Although the sources analyzed have different chemical classifications according to the standards of the Mining Laboratory, it was possible to choose some of the most important parameters of their composition to study the variability. Based on the study of the variability of these parameters analyzed through the extension variance, it was possible to determine the minimum number of samples for these parameters and for the other parameters that the bottling company wishes to monitor.

In this study, laboratory analyzes were performed for a small set of chemical, physico-chemical and microbiological parameters from 16 mineral water sources, during some climatic seasons so that the temporal variability of these parameters could be understood. Samples from the sampling points and the final products were analyzed according to their availability in the commercial establishments and in the visited water mines.

The fluoride content in the water was the determining factor for the best collection interval for the eight sources. The use of data with duplicates to calculate the extension variance, the

performance of the heterogeneity test based on Pierre Gy's Theory and the study of the nugget effect contribution in the sampling resulted in the adoption of a collection interval equal to 128 days (or approximately 4 months) for mineral water sources to minimize sampling errors and guarantee the classification of mineral water as fluoridated for the studied sources.

Key Words: mineral water, phyco-chemical, chemical, microbiological parameters, extension variance.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

A amostragem de águas subterrâneas sempre foi um tema muito importante, ainda mais quando as águas subterrâneas são destinadas ao engarrafamento para consumo humano e/ou quando estas águas são usadas para fins recreativos ou balneários.

O processo de amostragem de águas minerais envasadas no Brasil é atrelado ao que está determinado no Código de Águas de 1945. O Código de Águas pode ser considerado como algo arcaico e obsoleto e não atende às necessidades do mercado de águas minerais no presente momento.

O Controle e Fiscalização Sanitária das Águas Minerais é feita pelos seguintes órgãos a saber:

- A Agência Nacional de Mineração (ANM) que pertence ao Ministério de Minas e Energia (MME);
- A Divisão Nacional de Vigilância de Alimentos que pertence ao Ministério da Saúde.

Esses órgãos são responsáveis por determinar o Plano de Amostragem de Águas Minerais. Este plano de amostragem estabelece a obrigatoriedade de uma análise completa para as fontes de águas minerais, que deve ser realizada anualmente. Esta análise anual destina-se ao controle da qualidade da água mineral envasada na fonte em questão.

Para classificar a água mineral de cada fonte, a ANM exige que seja realizada a análise completa no LAMIN- Rede de Laboratórios de Análises Minerais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Por meio desta análise completa é possível estabelecer a classificação da água mineral que irá no rótulo das embalagens dos produtos envasados. A cada três anos, as empresas de águas minerais envasadas devem realizar a análise oficial do LAMIN para constar nos rótulos das suas embalagens. As empresas têm a obrigatoriedade de cumprir esse prazo estabelecido pela ANM com o intuito de garantir a proteção alimentar do consumidor de água mineral.

A indústria de águas envasadas se difere muito da indústria mineral porque as águas minerais são lavradas em um único ponto de captação e também porque não é permitido o beneficiamento das águas minerais nem a mistura de águas minerais provenientes de fontes diferentes.

Com relação à amostragem de águas minerais, é possível considerar que se trata um processo mais errático do que a amostragem de outros minérios. Na figura 1.1 são mostradas as principais diferenças entre a indústria de águas envasadas e a indústria mineral propriamente dita.

Analisando a figura 1.1 é possível ver que na indústria mineral há a presença de protocolos de amostragem, há o uso de Geoestatística tanto para amostragem sistemática dos minérios como para classificação da reserva mineral. Quanto à indústria de águas envasadas, a legislação estabelece que deve ser feita apenas uma análise completa trienal para constar nos rótulos das embalagens e classificar qual o tipo de água mineral que está sendo envasada.

Indústria de Águas envasadas	Indústria Mineral
<ul style="list-style-type: none">• 1 amostra completa anual• Sem quarteamento• 1 análise completa para os rótulos a cada 3 anos• classificação da reserva com base em uma análise trienal.	<ul style="list-style-type: none">• Protocolos de amostragem• Uso da Geoestatística• Quarteamento das amostras• Classificação sistemática das reservas com o uso da Geoestatística

Figura 1.1 – Diferença entre a amostragem das águas envasadas e a amostragem na indústria mineral. Fonte: Autora (2021).



Figura 1.2 – Redução de volumes no processo de amostragem de águas envasadas

Outra característica que diferencia a amostragem de águas minerais e a amostragem de minérios é a redução drástica de volume que começa na fonte e termina no laboratório de análises. Na indústria mineira propriamente dita, a redução de volume ocorre de forma sistemática pelas técnicas de quarteamento de minério. A amostra de minério que é recolhida da correia transportadora passa por diversas etapas de quarteamento, que transformam a massa inicial dada em toneladas para a massa final que é dada em gramas e será levada ao laboratório de caracterização tecnológica do minério.

A figura 1.2 mostra como é feita a redução em volume para a água mineral. Toma-se o Aquífero Pré-Cambriano que possui os 4 poços de águas minerais a saber: Fonte Sonja, Fonte Santo Antonio, Fonte Santa Lúcia e Fonte Primavera. Cada captação tem uma vazão de aproximadamente 50.000 L/h. Escolhe-se um poço a ser amostrado, que no caso é a Fonte Santo Antonio com vazão de 50.000 L/h. Espera-se a água proveniente do poço Santo Antonio ser conduzida para o reservatório de inox de 50.000 L. O volume de água contido no reservatório de inox será conduzido à linha de envase de garrações de 20 L.

Da linha de envase de garrações de 20 L, coleta-se apenas um galão de 20 L que está passando pela esteira transportadora. Essa embalagem é levada ao laboratório de análises de água bruta. E sofrerá outra redução de volume drástica: retiram-se alíquotas de 10 ml para se analisar cada parâmetro químico e físico-químico separadamente. E para a análise microbiológica é retirada uma alíquota de 100 ml.

Do ponto de vista estatístico, sabe-se que uma única amostra não é suficiente para garantir a qualidade do produto. As amostras anuais que devem ser apresentadas na mineração de água mineral para a Vigilância Sanitária também não são suficientes para garantir a qualidade do produto envasada.

As análises oficiais do Laboratório de Mineração (LAMIN) têm periodicidade de três anos, e são essas que constam nos rótulos, essas análises podem não refletir o que ocorre na fonte durante um ano que corresponde ao ciclo hidrológico das águas subterrâneas.

Para garantir a qualidade da água subterrânea devem ser levados em conta os fatores climatológicos, o regime de chuvas da região e a sazonalidade. A frequência muito longa de amostragem mais a redução drástica do volume de água mineral a ser analisado têm sido as maiores fontes de erro para se classificar a água envasada e para garantir a qualidade dos parâmetros de potabilidade das fontes.

O presente trabalho surgiu da necessidade de questionar a periodicidade com que são realizadas as análises completas para controle (análises anuais) e as análises oficiais da ANM que vão nos rótulos dos produtos das garrafas.

Por meio do uso da ferramenta de variância de extensão pretende-se propor um intervalo de coleta mais apropriado do ponto de vista científico que estude a real variabilidade de um conjunto de parâmetros selecionados.

Levar-se-ão em conta que os parâmetros analisados estão correlacionados temporalmente, o que poderá ser averiguado por meio dos variogramas temporais. Chegar-se-á a um intervalo de coleta que possa ser aplicado para todos fontes utilizadas no presente trabalho.

A metodologia proposta nesta tese não foi feita para garantir que os valores dos parâmetros analisados estejam dentro do limite estabelecido na legislação. O trabalho em questão não envolve a remediação de aquíferos para tornar os poços de captação apropriados ao consumo humano.

A metodologia proposta nesta tese irá acessar os teores médios de cada parâmetro durante vários intervalos de coleta. Com base nos teores médios obtidos para cada intervalo, analisar-se-á quais os intervalos de coleta que fornecem a informação mais confiável para de classificar a água mineral.

Por meio do uso da variância de extensão analisar-se-ão quais serão os erros de amostragem cometidos ao se analisar os parâmetros de qualidade da água com uma frequência de três anos (conforme estabelecido na lei) com os erros cometidos ao se amostrar a água mineral em intervalos de tempos menores, que vão da coleta diária, à coleta a cada dois dias, quatro dias, oito dias etc.; até chegar aos intervalos de coleta estabelecidos na lei que são: coletas anuais para apresentar à vigilância sanitária e coletas trienais para constar nos rótulos das embalagens comercializadas,

1.2 Meta

A meta do trabalho consistiu em criar um protocolo para estudo da variabilidade dos parâmetros de qualidade de diversas fontes de águas minerais e determinar através do uso da variância de extensão a melhor frequência de amostragem para os parâmetros das fontes.

Esta melhor frequência de amostragem irá minimizar os erros obtidos para os valores médios dos parâmetros químicos, físico-químicos e microbiológicos. Procurou-se garantir que o teor médio do intervalo escolhido mais os erros de amostragem fornecesse um valor dentro da faixa de valores estabelecida na legislação vigente.

1.3 Objetivos

O objetivo geral desta tese é a utilização da variância de extensão para determinar o melhor intervalo de coleta para os parâmetros de qualidade das fontes de águas minerais.

Por meio dos cálculos de variância de extensão, obter-se-ão os erros relativos à média dos dados amostrados, depois serão calculados os valores mínimos e máximos para cada intervalo de amostragem. Os valores mínimos e máximos serão comparados com os valores mínimos e máximos estabelecidos na legislação vigente. Finalmente, o melhor intervalo de amostragem será o intervalo máximo que ainda garantirá que todos os parâmetros de qualidade se mantenham entre os valores mínimos e máximos da legislação em questão.

A classificação mínima da água mineral é como sendo água mineral fluoretada, isso será levado em conta para se determinar o melhor intervalo de coleta. As águas minerais estudadas no presente trabalho, deverão ter o seu teor de fluoreto mínimo, como sendo 0,02 miligramas por litro, e o teor de fluoreto máximo permitido será igual a 1,5 miligramas por litro. O intervalo de coleta adotado permitirá que os teores de fluoreto estejam dentro da faixa de valores mencionada anteriormente. Caso a fonte tenha outra classificação química além de fluoretada, como por exemplo, litinada, vanádica etc.; também será escolhido o melhor intervalo de coleta que garanta todas as classificações químicas contidas no rótulo conforme a legislação em vigor.

Sabe-se que a água subterrânea é proveniente de fontes superficiais, quando ocorrem chuvas e enchentes, a água superficial irá penetrar no solo conforme a permeabilidade do solo e das rochas que compõem esse solo, quanto maior a permeabilidade das rochas e do solo, mais fácil será a infiltração da água por entre esses poros. A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2021) explica que durante o percurso da água superficial por entre os poros do subsolo e das rochas, ocorre a depuração da água através dos processos físico-químicos e bacteriológicos.

Segundo a ABAS (2021), os processos físico-químicos são: a troca iônica, o decaimento radioativo, a remoção de sólidos em suspensão, a neutralização de pH em meio poroso etc. Os processos microbiológicos mais comuns são: a eliminação de micro-organismos devido à ausência dos nutrientes oxigênio e nitrogênio. Sem esses nutrientes não é viável a presença de micro-organismos. Tanto os processos microbiológicos como os processos físico-químicos agem sobre a água subterrânea de forma a modificar as suas características originalmente adquiridas. Essa mudança torna a água mais apropriada para o consumo humano.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB, 2021) finalmente explica que a composição química da água subterrânea é o resultado da composição da água que se infiltra no solo mais a evolução química que ocorre na água quando a mesma atravessa as diversas litologias do solo. A CETESB (2021) ainda acrescenta que o teor das substâncias dissolvidas vai aumentando à medida que a água vai se movimentando através das litologias que compõem o subsolo.

Para o caso de haver contaminação microbiológica nas fontes estudadas, buscar-se-á identificar se a contaminação está na água da captação, ou se está ocorrendo no processo de envase ou lavagem das embalagens para o caso do envase de garrafas. Se a contaminação for devida ao processo de lavagem dos garrafas será necessário coletar a água direto do poço ou nascente, o que é inviável para a presente tese, pois somente os funcionários do envase têm acesso a este ponto de captação.

Com base na escolha do melhor intervalo de coleta, será determinado o número mínimo de amostras para todas as fontes estudadas.

O objetivo específico desta tese é estudar as correlações existentes entre os pares de parâmetros de qualidade das fontes de águas minerais. Com o intuito de minimizar o número de parâmetros amostrados, tentar-se-á estabelecer a correlação dos dados brutos e/ou a correlação

temporal existente entre os três tipos de parâmetros de qualidade: os parâmetros químicos, os parâmetros físico-químicos e os parâmetros microbiológicos.

O alcance deste objetivo mais específico dependerá da forma que serão obtidos os resultados das análises das fontes. Se os resultados das análises forem todos qualitativos, será mais difícil estabelecer a correlação entre eles; quanto maior for a quantidade de resultados quantitativos para os parâmetros analisados, melhor será para se estabelecer a correlação entre os pares de parâmetros de qualidade das fontes.

Por meio da correlação linear entre os dados, pretende-se obter as equações para poder prever um parâmetro com base nos dados das análises de outro parâmetro. Verificar-se-á se há a correlação entre os dados brutos ou se será preciso tratar os dados dos resultados das análises. O estudo da correlação entre os pares de parâmetros de qualidade de água, visa a minimização da quantidade de parâmetros analisados para que se minimizem os custos com análises de águas minerais que costumam ser muito elevados por amostra recolhida.

1.4 Metodologia

A seguir na figura 1.3 são os seis passos principais da metodologia utilizada nessa Tese.

O passo 1 do trabalho consistiu em definir um plano de amostragem para as fontes a serem analisadas. Para as análises químicas e físico-químicas buscou-se obter mais de uma fonte dos aquíferos estudados.

No passo 2, as embalagens que foram coletadas nos estabelecimentos comerciais foram levadas aos laboratórios de análises. Para que não houvesse contaminação das amostras, ou que fossem cometidos erros de acondicionamentos das amostras, optou-se por receber os técnicos de laboratório em casa para que as amostras fossem conduzidas da forma adequada para o laboratório.

O passo 3 caracterizou-se por ser extremamente longo. Foram monitoradas 8 fontes para serem realizadas as análises químicas e físico-químicas; e para as análises microbiológicas foram monitoradas 11 fontes. O período de coleta e realização das análises se iniciou em dezembro de 2015 e findou em março de 2019.

O passo 4 consistiu na tabulação dos resultados obtidos por meio das análises. Com esses resultados foi construído um banco de dados robusto. Esse banco de dados contém 151 análises químicas e físico-químicas de 8 fontes, e 139 análises microbiológicas de 11 fontes.

O passo 5 consistiu em tratar os dados tabulados no passo 4 por meio da Estatística Clássica. Foram calculadas as medidas de dispersão e de posição para os dados. Calculou-se a correlação entre os parâmetros e obteve-se a matriz de correlação para os parâmetros das fontes. Foi checado se a quantidade de dados era suficiente do ponto de vista estatístico e se analisou a simetria de cada parâmetro de qualidade. Após isso, foram construídos os variogramas temporais para os dados quantitativos de cada fonte usando-se o software acadêmico SGeMs, a versão utilizada foi a do Laboratório de Planejamento Mineiro – LPM da UFRGS. Com base nos variogramas obtidos calculou-se o variograma médio para os parâmetros, para isso foi usado o algoritmo GAMMABAR da biblioteca de softwares geoestatísticos GSLIB. Com base nos variogramas temporais médios obtidos, foi sendo calculada a variância de extensão. Partiu-se do intervalo inicial igual a 1 dia, depois calculou-se a variância de extensão para os intervalos iguais a 2 dias, 4 dias, 8 dias até chegar no intervalo igual a 1024 dias, que corresponde a três anos. Três anos é a frequência

adotada pela Agência Nacional de Mineração, para que cada empresa envasadora realize a análise oficial completa que constará nos rótulos das embalagens.

Ainda no passo 5 foi calculado o erro relativo em relação à média dos dados, sendo que esse erro foi calculado para cada intervalo de coleta, partindo do intervalo inicial igual a 1 dia e findando no intervalo igual a 1024 dias.

No passo 6, com base na análise dos erros relativos calculados para cada intervalo e com a checagem dos valores máximos e mínimos estabelecidos na legislação vigente, obteve-se a melhor frequência de coleta para as fontes em que foram analisados os parâmetros químicos e físico-químicos e outro intervalo de coleta para as fontes em que os parâmetros microbiológicos foram analisados. Neste passo foi determinado o número mínimo de amostras a ser coletado para cada fonte. Este número mínimo deveria garantir o menor erro de medição dos parâmetros críticos das fontes com base no critério de suficiência amostral.

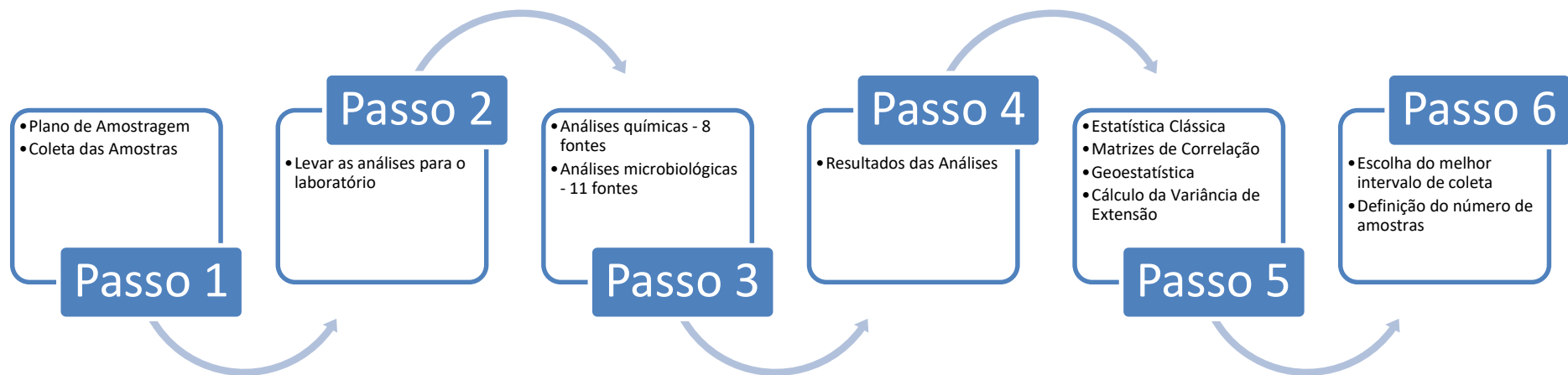


Figura 1.3 – Fluxograma da Metodologia usada na Tese. Fonte: Autora (2021).

1.5 Estado da Arte

Na literatura, há muitos trabalhos em que os parâmetros de qualidade das águas subterrâneas são monitorados por meio de variogramas temporais. Muitos trabalhos fazem uso apenas da variografia temporal para determinar a melhor frequência para se coletar as amostras de águas subterrâneas.

O autor Tuckfield (1994) usou a variografia temporal para determinar a melhor frequência de amostragem da água subterrânea para monitorar a contaminação por elementos radionuclídeos. Em seu trabalho, o autor chegou à conclusão de que as amostras devem ser coletadas semanalmente ou quinzenalmente, para um elemento químico ou físico-químico que possuísse um valor máximo permitido segundo a legislação.

O autor Tuckfield (1994) também recomendava que o número mínimo de amostras a serem coletadas deveria ser de 25 amostras dentro do período de um ano, para que fosse possível realizar a análise por meio de variogramas temporais.

Apesar de ter chegado à conclusão de que o tempo de coleta de amostras deve ser semanal ou quinzenal, o autor Tuckfield (1994) não adotou este tempo de coleta em seu trabalho. Os poços de água de seu estudo foram amostrados, trimestralmente. Ele chegou à conclusão de que o melhor intervalo de amostragem seria semanalmente ou quinzenalmente por meio da análise dos variogramas temporais obtidos para o conjunto de dados obtidos.

Já no trabalho dos autores Boy-Roura et al. (2013), aplicou-se o intervalo de coleta igual a 15 dias, para a amostragem do parâmetro químico nitrato de 13 nascentes de água mineral na Espanha. Estas fontes estavam sujeitas à contaminação por nitrato proveniente da atividade agrícola que é exercida próxima à região onde se localizam estas nascentes. Não somente o íon nitrato (NO_3^-) foi analisado, mas os parâmetros físico-químicos pH e condutividade elétrica (CE), e os parâmetros químicos sódio (Na^+), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}) e o cloreto (Cl^-), foram também monitorados com a mesma frequência de 15 dias. Não há valores máximos permitidos para os íons cálcio e magnésio e nem para a condutividade elétrica na legislação internacional. Há apenas valores máximos permitidos para o sódio, o cloreto e o nitrato.

Este intervalo de coleta de 15 dias, permitiu que fossem realizadas 27 campanhas de amostragem ao longo de um ano (fevereiro de 2010 a fevereiro de 2011). Tratou-se de um intervalo curto de amostragem, mas que permitiu analisar de forma minuciosamente o comportamento temporal do nitrato que é um importante contaminante da água subterrânea. Os variogramas temporais usados foram do modelo gaussiano e do modelo esférico, por meio dos variogramas foi possível estudar a influência do regime de chuvas sobre a contaminação por nitrato nas 13 nascentes amostradas.

O trabalho dos autores Kóvacs et al. (2012), o intervalo de coleta obtido como ótimo foi de três dias. No trabalho em questão, amostraram-se o nitrato e o total de fósforo de uma fonte superficial de água, um lago na Hungria, e não uma fonte de água subterrânea. Mesmo assim, por

tratar-se de um parâmetro de qualidade de água, não importou o fato de a água analisada não ser subterrânea.

No trabalho dos autores Aubert et al. (2013), os íons nitrato, cloreto e sulfato foram monitorados ao longo de dez anos, durante o período de setembro de 2000 a agosto de 2010. O intervalo de coleta foi de um dia para todos os parâmetros amostrados, exceto durante os anos de 2002 a 2003, onde usou-se o intervalo de coleta de 2 a 4 dias.

Neste trabalho, os íons nitrato, cloreto e sulfato foram monitorados em aquífero raso situado na França. Este aquífero estava muito próximo a uma agrícola e desejava-se monitorar a contaminação deste aquífero raso pelos íons nitrato, cloreto e sulfato que em virtude da atividade agrícola podiam atingir os valores máximos permitidos na legislação para a água subterrânea, em decorrência da contaminação por uso de fertilizantes na área agrícola.

Os autores Albert et. Al. (2013), aplicaram um tempo de coleta de um dia na maior parte do tempo de amostragem, provando que é factível o uso deste tempo de coleta tão curto na amostragem de água subterrânea.

Nos protocolos de amostragem de água mencionados anteriormente não houve o uso da técnica de variância de extensão. A presente tese se diferencia dos outros trabalhos por determinar a melhor frequência de amostragem por meio do uso da variância de extensão.

Há trabalhos na literatura que fazem uso da variância de extensão para determinar o melhor intervalo de amostragem na indústria mineira. Os autores MARQUES & COSTA (2014b) e COSTA & SOUZA (2018) fazem uso da variância de extensão para determinar o melhor intervalo de amostragem para minérios sólidos em geral.

O presente trabalho se propõe a usar a técnica de variância de extensão para águas subterrâneas, visto que esta técnica ainda foi utilizada na amostragem de águas subterrâneas. Nem a indústria mineira nem os pesquisadores de águas subterrâneas usaram a variância de extensão para determinar o melhor intervalo de coletas das amostras de águas subterrâneas até o presente.

O uso da variância de extensão para a indústria mineral ainda é timidamente usado pelos da área. E além do mais, as pesquisas sobre amostragem de águas subterrâneas se limitam a usar apenas a variografia temporal conforme recomendado pelos trabalhos dos autores PITARD (1993), GY (2004a), GY (2004b), GY (2004c), GY (2004d) e GY (2004e).

Com relação ao íon fluoreto, não foi possível encontrar estudos que usassem apenas variogramas temporais para a análise do fluoreto.

A maior parte dos trabalhos pesquisados fizeram uso de variogramas espaciais. Eram coletadas um grande número de amostras em determinado mês do ano, ou em uma determinada estação climática. Os dados coletados eram analisados espaço-temporalmente por meio de variogramas espaciais.

O trabalho do autor BEG (2009), consistiu na amostragem de uma base de dados robusta, onde diversos parâmetros de qualidade da água foram amostrados antes do período das monções, durante o período de monções e depois do período das monções na Ásia. Neste trabalho, o autor usou os variogramas espaciais para cada um dos três períodos mencionados, com o intuito de traçar um estudo da variabilidade geoespacial do parâmetro fluoreto de uma determinada área de estudo da Índia. O autor também mediu o pH e a condutividade elétrica das amostras coletadas, mas sua preocupação maior era o estudo geoespacial por meio de variogramas do parâmetro fluoreto.

1.6 Organização da Tese

Esta tese está dividida em 5 capítulos. Os conteúdos dos capítulos 2 a 5 são descritos a seguir:

- Capítulo 2 – Este capítulo é dedicado à revisão bibliográfica sobre a amostragem de águas subterrâneas e a legislação vigente com relação à classificação das águas subterrâneas. Também são revistos os conceitos de variáveis regionalizadas, variogramas, mudança de suporte e variância de extensão. Alguns conceitos da Estatística Clássica são revistos neste capítulo tais como: o coeficiente de correlação de Pearson, o modelo Gaussiano de distribuição de probabilidade, os erros relativos de amostragem, a suficiência amostral e a matriz de correlação. A Teoria de Amostragem de Gy e o Diagrama de Piper para classificação de águas subterrâneas também serão abordados nesse capítulo.
- Capítulo 3 – Este capítulo é dedicado a descrever a metodologia utilizada na Tese. São fornecidas informações sobre as fontes de águas minerais analisadas, descreve-se como foi realizada a coleta das amostras, quais foram os parâmetros de qualidade analisados.
- Capítulo 4 – Este capítulo mostra os resultados obtidos dos dados das análises químicas, físico-químicos e microbiológicas que foram tratados pela Estatística Clássica. São mostrados os resultados obtidos para a matriz de correlação para os parâmetros de qualidade das águas minerais analisadas. Após isso, são mostrados os resultados obtidos com os variogramas obtidos pela Análise da Geoestatística.

São mostrados os resultados obtidos com o cálculo da variância de extensão para os erros relativos calculados para cada intervalo de confiança. São feitas discussões sobre todos os resultados mencionados anteriormente e será escolhido o melhor intervalo de coleta para as fontes analisadas. Finalmente, serão analisados os resultados obtidos pela classificação das fontes de águas minerais através do Diagrama de Piper para que se analise como se dá a correlação entre os parâmetros de qualidade das águas.

- Capítulo 5: Será apresentada a conclusão da tese e serão propostas sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Amostragem de Água

Este item será dedicado a ilustrar por meio de exemplos da literatura, como é imprescindível o uso da Geoestatística na amostragem de água. De forma que se justifique o uso da Geoestatística no presente trabalho para se construir o protocolo de análise da variabilidade dos parâmetros das águas minerais.

A partir deste ponto a preocupação será a de fornecer um breve histórico das aplicações científicas da geoestatística nas áreas de amostragem de água. Isso será feito com o intuito de justificar o quão importante é o uso de variogramas no monitoramento dos parâmetros de qualidade da água.

VIRDEE & KOTTEGODA (1984) usam variogramas para otimizar a localização de poços no aquífero Kennet Valley Chalk, no Reino Unido. Esta otimização dos poços é feita pela variografia da variável transmissividade de poços já existentes no aquífero. Por meio da variografia espacial do logaritmo da transmissividade, os autores puderam compreender como a transmissividade dos poços variavam nas direções x, y e z.

Uma aplicação extremamente interessante foi feita por DEVEREL (1989), que em seu trabalho usa a variografia para monitorar a salinidade do solo da região de San Joaquin Valley na Califórnia, nos Estados Unidos. A salinidade do solo é associada com os sólidos dissolvidos e com a presença dos seguintes aniões: molibdênio, selênio, boro e vanádio.

A década de 90 teve muitos trabalhos relevantes para a área de amostragem de água. Os autores WARNER et al. (1992) fizeram o uso da Geoestatística na remediação de águas contaminadas do aquífero raso de Rocky Mountain Arsenal. Com esse intuito, foram construídos os variogramas das seguintes variáveis do aquífero: condutividade hidráulica, transmissividade, a espessura saturada e a produção específica

Uma grande contribuição para a área de amostragem hidrológica foi dada por PITARD (1993). Além de ressaltar a importância da amostragem dos suprimentos de água, o que inclui implicitamente as fontes de água mineral, PITARD (1993, p. 400) questiona o fato da amostragem de água ser baseada na densidade populacional, determinando o número de amostras com base nessa

densidade populacional. Segundo PITARD (1993, p. 400), esse protocolo de amostragem parece empírico.

Por isso, PITARD (1993, p. 400) explica que os variogramas experimentais quando são calculados sobre uma base regular ou quando os variogramas são calculados sobre os dados existentes, são muito importantes porque podem fornecer informações importantes para as autoridades sobre os parâmetros de qualidade da água. O autor PITARD (1993, p. 400) acrescenta que por meio dos variogramas é possível enxergar quando ocorrem grandes flutuações nos parâmetros de qualidade de água que ocorrem em períodos curtos de tempo. Os variogramas também mostram as tendências na qualidade de água que podem ocorrer em longos períodos de tempo. Por último o autor nos diz que os variogramas nos permitem entender a existência e as flutuações que ocorrem de forma periódica nos parâmetros de qualidade da água.

Outra excelente contribuição é feita por KITANIDIS (1997). Esta obra dedica-se ao ensino de Geoestatística para todos que trabalham com Hidrogeologia, contendo aplicações específicas da Geoestatística para se trabalhar com variáveis hidrogeológicas e de Engenharia. Para o autor, a dificuldade e o custo oneroso de se fazer coletas de campo das variáveis hidrogeológicas e ambientais e a necessidade de se ter uma grande quantidade de medidas de cada variável a ser estudada; justificam o uso de Geoestatística. Segundo KITANIDIS (1997), as técnicas geoestatísticas fornecem a solução para os profissionais das áreas hidrogeológicas e outras correlatas quando é imprescindível a estimativa das variáveis em pontos não amostrados (devido às limitações econômicas e de viabilidade técnica).

A Geoestatística usada na amostragem hidrológica, não apresenta contribuições somente na área de Hidrologia, há também contribuições na área da Ecologia. Há exemplos de estudos de amostragem de águas subterrâneas que são usadas para agricultura ou para consumo humano. Os autores VAN HORSSSEN et al (1999) fazem uso da variografia para se fazer o estudo da variabilidade espacial e temporal dos parâmetros químicos e físico-químicos componentes da água subterrânea, em uma área úmida localizada na parte central da Holanda. Esta área se destina à atividade de pecuária leiteira. As 13 variáveis de qualidade da água subterrânea que foram medidas são: NH_4^+ , K^+ , PO_4^{3-} , SiO_2 , Na^+ , NO_3^- , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , Fe_{total} , Ca^{2+} , HCO_3^- e o pH. Foram tomadas medições em 306 pontos diferentes em quatro pontos de amostragens diferentes.

Esses dados foram analisados no espaço e no tempo pela variografia permitindo que fosse possível analisar como as variáveis de qualidade da água subterrânea se comportam espacialmente e temporalmente.

Poderão ser tomadas medidas de remediação para o estudo de caso de VAN HORSSSEN et al (1999) e outros que apresentem a mesma problemática. Pode-se considerar que o estudo VAN HORSSSEN et al (1999) tratou de **um protocolo de análise da variabilidade dos parâmetros da água subterrânea** com fins agrícolas e/ou pecuários.

Outro estudo relevante foi o dos autores SALIH et al (2002). Neste estudo, os autores SALIH et al (2002) criam mapas de superfície para Radônio contido na água subterrânea baseados nas medidas do Radônio (^{222}Rn) que foram obtidas por meio de poços perfurados no escudo rochoso em lugares desiguais, e também foram construídos mapas do leito rochoso de Urânio. A área em estudo localizava-se no Sudeste da Suécia. Outro trabalho de extrema importância envolvendo parâmetros químicos de qualidade da água subterrânea foi feito por SHAMSUDDUHA (2008). Trata-se de um estudo de caso sobre o problema ambiental da grande concentração de arsênio existente nos aquíferos aluviais em Bangladesh. Segundo SHAMSUDDUHA (2008), “Bangladesh está afetado por um dos piores casos do mundo de contaminação de água por arsênio (As) elevado”. O autor parte de dois problemas-chaves para se fazer o seu estudo:

- O arsênio apresenta grande variabilidade espacial em Bangladesh;
- Os estudos feitos, até o presente momento, sobre os padrões espaciais das distribuições de arsênio na água subterrânea e as técnicas de predição nas áreas não amostradas são inadequados.

Este estudo conseguiu mostrar a grande variabilidade espacial das concentrações de arsênio na água subterrânea e, também, confirma a tendência de crescimento das concentrações de arsênio na água subterrânea das regiões nordeste e centro-sul do país.

Diante desta problemática o autor SHAMSUDDUHA (2008) utiliza análise dos semivariogramas dos dados amostrados, e os semivariogramas revelam o grande grau de variabilidade espacial em pequena escala para os aquíferos aluviais. É afirmado pelo autor que a variabilidade em pequena escala é indicada pelos altos valores de efeito pepita (“nugget effect”) nos semivariogramas, e isto está associado com a heterogeneidade na escala local de geologia e nos processos geoquímicos. O autor faz a variografia para os dados originais de concentração de arsênio

e para os dados residuais. Com os dados originais foi possível se fazer a previsão da distribuição espacial do arsênio na escala regional. Por meio desta análise geoestatística foi possível obter resultados que revelam a gravidade do problema de contaminação de arsênio na água subterrânea de Bangladesh.

Por último, é possível se visualizar a necessidade de mudanças em padrões de potabilidade da água. Através de técnicas geoestatística, como por exemplo, o uso de variogramas, pode-se fundamentar a necessidade de mudanças nos valores mínimos e máximos dos parâmetros químicos e físico-químicos da água que serão aceitáveis pela legislação, não só para o caso de Bangladesh, mas também para qualquer caso de consumo de água, tendo o entendimento do comportamento das variáveis envolvidas e o entendimento da legislação local de cada país.

Na Turquia, há um excelente exemplo de um protocolo de análise de variabilidade dos parâmetros da água para consumo humano proposto por NAS et al (2007), usando técnicas geoestatísticas. A área em estudo é o lago Beysehir que é uma fonte de água importante destinada ao consumo humano e à irrigação.

Este protocolo de análise de variabilidade dos parâmetros da água para consumo humano e irrigação possui amostras provenientes de 40 pontos (locais) de amostragem. Os parâmetros de qualidade da água que foram amostrados são:

- pH – o potencial hidrogeniônico;
- DO – a demanda por oxigênio expressa em mg/L ;
- Condutividade – expressa em $\mu S/cm$;
- Turbidez da água – expressa em NTU;
- COD – demanda química por oxigênio, expressão em mg/L ;
- TN – total de nitrogênio, expresso em $\mu g/L$;
- TP – total de fósforo – expresso em $\mu g/L$;
- TSS – total de sólidos em suspensão $\mu g/L$;
- SDD – indica o fósforo total e transparência da água, ou profundidade do disco Secchi – expresso em cm .
- Ch-la – o índice de biomassa existente na água indica presença de algas, expresso em $\mu g/L$.

- NO_3 – nitrato – expresso em mg/L .
- NH_4 – amônio – expresso em mg/L .

Neste estudo, os autores testaram diversos tipos de semivariogramas para os parâmetros TN, TP, Turbidez, Ch-la e SDD. Os tipos de semivariogramas utilizados foram: **o circular, o esférico, o tetraesférico, pentaesférico, o exponencial, o gaussiano, o rotacional quadrático, o “hole effect”, o K-Bessel, o J-Bessel e o tipo Stable**. E finalmente foi escolhido o melhor variograma ajustado para cada variável de qualidade da água.

Convém enfatizar que o estudo de NAS et al (2007) foi o que trouxe a melhor contribuição para o presente trabalho. Com ele foi possível se certificar da viabilidade da criação de um protocolo de análise da variabilidade dos parâmetros físico-químicos e químicos da água utilizada para consumo humano. No caso das águas minerais que estão estudadas no presente trabalho, há outras variáveis físico-químicas e químicas a serem estudadas que determinam a classificação das águas minerais.

O estudo de NAS et al (2007) chama a atenção para o comportamento diferenciado de cada parâmetro quando se realiza o modelo por semivariogramas e covariância. Cada parâmetro teve um tipo diferente de modelo de semivariograma ajustado, pois cada parâmetro de qualidade da água comporta-se de forma diferente ao longo do tempo e espaço. Por último, este estudo ressalta a importância das técnicas geoestatísticas para se fazer a predição da distribuição dos parâmetros de qualidade da água para consumo humano.

Além deste estudo dos autores NAS et al (2007), há também o estudo dos autores NAS et al (2009), onde os autores estudam a variabilidade espacial e sazonal da concentração de metais no mesmo lago Beysehir em que foi realizado o trabalho dos autores NAS et al (2007).

No estudo de NAS et al (2009) foram as concentrações dos seguintes metais presentes na água do Beysehir: alumínio (Al), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), níquel (Ni) e zinco (Zn).

Para análise dos parâmetros mencionados acima foram coletadas 40 amostras no lago, no período entre 9 de junho de 2005 a 22 de agosto de 2006. Os autores estudaram a variabilidade dos teores metálicos apenas em duas estações: uma estação seca (no mês de agosto) e uma estação chuvosa (no mês de junho). Os autores NAS et al (2009) explicaram que a concentração dos metais não costumou variar ao longo das estações climáticas, ou seja, a variabilidade dos metais analisados não dependeu tanto da sazonalidade. Em contrapartida, as concentrações dos metais apresentaram grande distribuição espacial, ou variabilidade espacial. Os autores enfatizam que as maiores

concentrações dos metais analisados foram obtidas quando as amostras foram coletadas na estação chuvosa: as campanhas de coleta na estação chuvosa ocorreram nos meses de junho de 2005 e junho de 2006. Após fazer essas constatações, os autores NAS et al. (2009) decidiram que analisariam a variação espacial dos parâmetros metálicos da água do lago Beysehir por meio das ferramentas de geoestatística em seus trabalhos futuros.

Os autores RAMOS et al (2009) fizeram um excelente trabalho de monitoramento de variáveis climáticas de estações pluviais. Neste trabalho foram monitorados a precipitação, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento por meio de variogramas temporais para uma determinada região da cidade de Petrolina no estado de Pernambuco. Estas variáveis foram estudadas por meio de variogramas com intuito de analisar a dependência temporal das mesmas. O intervalo de coleta das amostras de precipitação pluvial era medido em meses.

Por último, convém também mencionar que os autores do trabalho supracitado realizaram um outro trabalho que envolvia variografia temporal de variáveis climáticas. (RAMOS et al (2011)). Trata-se do trabalho de monitoramento da temperatura do ar da estação agrometeorológica das cidades de Botucatu (em São Paulo) e Petrolina (em Pernambuco). Este trabalho consistiu em medir a variabilidade horária da temperatura do ar. Foram testadas duas formas diferentes para o mesmo os intervalos de coleta: um intervalo de 6 em 6 horas com os registros às 2, 8, 14 e 20 h e às 4, 10, 16 e 22 h; e um segundo intervalo de 6 em 6 horas com registros de temperatura às 9, 15 e 21 h. Foram comparados os variogramas e escolheu-se o que obteve o maior índice de desempenho c .

O índice de desempenho “ c ” é variável estatística obtida da seguinte forma: multiplica-se o índice de precisão “ r ” pelo índice de concordância “ d ”. Não entraremos no mérito de expor as fórmulas do índice de precisão “ r ” nem as fórmulas do índice de concordância “ d ”, mas convém explicar que o índice de precisão “ r ” foi um valor adotado pelos autores RAMOS et al. (2011) e o índice de concordância “ d ” mede a distância entre o valor medido da temperatura, o valor médio da temperatura e o valor que era esperado para a temperatura.

Segundo RAMOS et. al (2011), o critério adotado para interpretar o desempenho dos métodos propostos através do valor do índice “ c ” para os variogramas calculados foi:

- $c > 0,85$ considerou-se como sendo ótimo;
- para valores de c entre 0,76 a 0,85; considerou-se como sendo muito bom;
- para valores de c entre 0,66 a 0,75; considerou-se como sendo bom;
- para valores de c entre 0,61 a 0,65; considerou-se como sendo mediano;
- para valores de c entre 0,51 a 0,60; considerou-se como sendo sofrível;
- para valores de c entre 0,41 a 0,50; considerou-se como sendo mal;

- $c < 0,40$ considerou-se como sendo péssimo.

O trabalho dos autores RAMOS et. al (2011) é importante porque faz uso de variogramas temporais para se fazer a temperatura do ar em uma estação climática. Este trabalho serve para ilustrar o quão importante é o estudo da dependência temporal das variáveis. Para o caso desta tese, a variância temporal dos parâmetros de qualidade da água é extremamente importante, por isso será usada a variância extensão com base no estudo dos variogramas temporais, a fim de que se determine o melhor intervalo de coleta para as fontes analisadas.

2.2 Classificação das Águas Minerais

As águas minerais costumam ser classificadas quanto à sua composição química, quanto à temperatura da fonte e quanto aos gases presentes na mesma.

A classificação das águas minerais quanto à sua composição química, é explicada em detalhes na tabela 2.1. A tabela 2.2 explica como se dá a classificação das águas minerais quanto à sua temperatura e quanto aos gases presentes na mesma.

Estas tabelas são muito importantes na determinação dos elementos a serem amostrados num protocolo de estudo de variabilidade dos parâmetros de qualidade das águas minerais.

CLASSIFICAÇÃO	CARACTERIZAÇÃO
Quanto à composição química	
OLIGOMINERAL	Quando apresentarem apenas uma ação medicamentosa.
RADÍFERAS	Quando tiverem radioatividade permanente.
ALCALINA BICARBONATADA	Bicarbonato de sódio ≥ 200 mg/L
ALCALINO TERROSAS	Carbonato de cálcio = ou > 120 mg/L
ALCALINO TERROSAS CÁLCICAS	Cálcio ≥ 48 mg/L sob a forma de bicarbonato de cálcio
ALCALINO TERROSAS MAGNESIANAS	Magnésio ≥ 30 mg/L sob a forma de bicarbonato de magnésio
SULFATADAS	$SO_4 \geq 100$ mg/L
SULFUROSAS	Sulfeto ≥ 1 mg/L
NITRATADAS	NO_3 (de origem mineral) ≥ 100 mg/L
CLORETADAS	Cloreto de sódio ≥ 500 mg/L

FERRUGINOSAS	Ferro = ou > 5mg/L
RADIOATIVAS	Que tiverem radônio em dissolução.
TORIATIVAS	Que possuírem teor em torônio em dissolução equivalente em unidades eletrostáticas, a 2 unidades Mache por litro, no mínimo.
CARBOGASOSAS	Gás carbônico livre dissolvido \geq 200 mg/L
ELEMENTO PREDOMINANTE	(> 0,01mg/L): iodadas, arseniadas, litinadas etc.

Tabela 2.1 – Classificação da água mineral quanto à sua composição química – Fonte CPRM (2019)

CLASSIFICAÇÃO	CARACTERIZAÇÃO
Quanto aos Gases	
FONTES RADIOATIVAS	
FRACAMENTE RADIOATIVAS	As que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 litro por minuto com um teor em radônio compreendido entre 5 e 10 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão.
RADIOATIVAS	As que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 litro por minuto com um teor em radônio compreendido entre 10 e 50 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão.
FORTEMENTE RADIOATIVAS	As que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 litro por minuto com um teor em radônio superior a 50 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão.
FONTES TORIATIVAS	As que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 litro por minuto, com um teor em tório na emergência equivalente em unidades eletrostáticas a 2 unidades Mache por litro.
FONTES SULFUROSAS	As que possuírem na emergência desprendimentos definidos de gás sulfídrico.
Quanto à Temperatura:	
FONTES FRIAS	Quando sua temperatura for inferior a 25°C.
FONTES HIPOTERMAIS	Quando sua temperatura estiver compreendida entre 25° e 33°C.
FONTES MESOTERMAIS	Quando sua temperatura estiver compreendida entre 33° e 36°C.
FONTES ISOTERMAIS	Quando sua temperatura estiver compreendida entre 36° e 38°C.
FONTES HIPERTERMAIS	Quando sua temperatura for superior a 38°C.

Tabela 2.2 – Classificação das fontes de água mineral quanto aos gases e quanto à temperatura – Fonte: CPRM (2019)

2.3 Valores Máximos e Mínimos para os parâmetros de qualidade da água

Os parâmetros de qualidade da água são divididos em quatro grupos:

- Cátions;
- Ânions;
- Físico-químicos;
- Bacteriológicos.

Para cada grupo de parâmetros, há procedimentos próprios para se realizar as análises nos laboratórios. A maior parte dos laboratórios de análises de águas minerais segue os padrões escritos no Manual chamado “Standard Methods for the examination of water and Wastewater,(últimas versões dos autores RICE et al (2012).

A tabela 2.3 mostra os parâmetros que são medidos pelo LAMIN, seus valores mínimos permitidos pelo LAMIN, os valores máximos permitidos pela RDC nº 274 da ANVISA e os valores máximos permitidos pela portaria nº 2914 do Ministério de Saúde. Os valores permitidos para o lítio, selênio, flúor e vanádio já se encontram atualizados conforme a portaria 540 do DNPM de dezembro de 2014. Quanto à metodologia utilizada para analisar cada parâmetro são apenas citados os métodos utilizados e as siglas dos protocolos que se usam para amostrá-los. Esses métodos que podem consultados detalhadamente, no livro “Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater”, onde eles são referenciados na tabela pelas siglas **SMEWW** e **SM**.

A sigla **Aquaquant Merck** refere-se a um kit padrão para se determinar as concentrações de sulfato e nitrito conforme podem ser vistos nos trabalhos dos autores VON CASTEIN et al (1999) e HOFFMANN & GUNKEL (2005). É interessante constatar que no Brasil, o kit **Aquaquant Merck** é também utilizado para se quantificar a concentração de nitrito. Além disso, o kit **Aquaquant Merck** é usado para se quantificar o amônio. Trata-se de um método colorimétrico para se determinar as concentrações.

A sigla **EPA 300.1** refere-se ao método de detecção de íons inorgânicos na água potável que foi estabelecido pela United States Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) que regulamenta a detecção desses íons pelo método da cromatografia. Os autores HAUTMAN & MUNCH (1997) fazem uma revisão sobre o método e explicam detalhadamente como se realiza a detecção dos íons por cromatografia.

A sigla **CETESB L5.403** refere-se à norma técnica usada pela CETESB em São Paulo para determinação da bactéria *Clostridium perfringens* em amostras de água pelo método de membrana filtrante.

As siglas **POP-03-04**, **POP-03-05**, **POP-03-06** e **POP-03-07** referem-se aos Procedimentos Operacionais Padronizados pela resolução RDC nº 275 de 2002 da ANVISA que devem ser aplicados por todas as indústrias produtoras de alimentos.

Finalmente, as siglas que começam com IT referem-se a protocolos internos da CPRM utilizados para detecção de parâmetros tais como: resíduo de evaporação a 110 ° C, resíduo de evaporação a 180 ° C, cianeto livre e Mercúrio. As substâncias que não foram apresentadas aqui e podem ser vistas no site do CPRM que apresenta os valores mínimos e máximos para substâncias.

Parâmetros, Limites de Quantificação do LAMIN (LQ), Valores Máximos Permitidos (VMP) pelas Legislações Aplicáveis (RDC 274 e MS 2914) e Métodos Utilizados.				
Parâmetro	LQ (mg L⁻¹)	VMP (mg L⁻¹)		Métodos Utilizados
		RDC 274	Port. 2914	
CÁTIONS				
Alumínio	0,01	----	0,2	SMEWW 3120 IT-03-06-01
Antimônio	0,002	0,005	0,005	
Arsênio	0,002	0,01	0,01	
Bário	0,01	0,7	0,7	
Berílio	0,002	----	----	
Boro	0,1	5	----	
Cádmio	0,002	0,003	0,005	
Cálcio	0,5	----	----	
Chumbo	0,002	0,01	0,01	
Cobalto	0,005	----	----	
Cobre	0,005	1	2	
Cromo	0,005	0,05	0,05	
Estanho	0,010	----	----	
Estrôncio	0,010	----	----	
Ferro	0,010	----	0,3	
Lítio	0,01	----	----	
Magnésio	0,010	----	----	
Manganês	0,010	0,5	0,1	
Molibdênio	0,005	----	----	
Níquel	0,005	0,02	0,07	
Potássio	0,01	----	----	
Selênio	0,006	0,01	0,01	
Silício	0,5	----	----	

Sódio	0,1	----	200	
Titânio	0,005	----	----	
Vanádio	0,030	----	----	
Zinco	0,01	----	5	
Mercúrio (AA com geração de vapor a frio-Hg inorgânico)	0,0003	0,001	0,001	Proc. Int. IT-03-05-02
Amônio (método colorimétrico)	0,05	----	----	Aquaquant Merck 1.4400.0001
ÂNIONS				
Brometo	0,01	----	----	EPA 300.1 IT-03-07-01
Cloreto	0,01	----	250	
Fluoreto	0,02	----	1,5	
Fosfato	0,05	----	----	
Nitrato	0,01	50	10*	
Nitrito	0,005	0,02	1*	
Sulfato	0,01	----	250	
Cianeto Livre	0,01	0,07	0,07	Proc. Int. IT-03-07-05
Nitrito (método colorimétrico)	0,005	0,02	1*	Aquaquant Merck 1.4408.0001
* Calculado como N				
Parâmetro	LQ (mg ⁻¹)	VMP (mg L ⁻¹)		Métodos Utilizados
		RDC 274	Port. 518	
FÍSICO-QUÍMICO				
Aspecto ao natural e após fervura	---	----	----	SMEWW 2110 IT-03-04-06
Odor a frio e a quente	----	----	----	SMEWW 2150AIT- 03-04-06
Sólidos em suspensão	----	----	----	SMEWW 2540D IT-03-04-15
Cor aparente / cor real	----	----	15 uH**	SMEWW 2120IT-03- 04-14
Turbidez	----	----	5 uT***	SMEWW 2130 IT-03-04-13
pH	1 a 14	----	6,5 a 9,5	SM22 4500 - H ⁺ B
Condutividade a 25°C e resíduo provável de evaporação a 180°C	----	----	----	SMEWW 2510B IT-03-04-07
Pressão osmótica calculada	----	----	----	Proc. Int. IT-03-04-20
Abaixamento crioscópico calculado	----	----	----	Proc. Int. IT-03-04-21

Resíduo de evaporação a 180°C calculado	----	----	----	Proc. Int. IT-03-04-22
Resíduo de evaporação a 110°C calculado	----	----	----	Proc. Int. IT-03-04-23
Dureza (total, permanente e temporária) em mg/L de CaCO ₃ .	----	----	500	SMEWW 2340 C IT-03-04-11
Oxigênio consumido (meios ácido e alcalino)	----	----	----	SMEWW 4500-OD IT-03-04-10
Carbonato e bicarbonato	1,8	----	----	SMEWW 2320 B IT-03-04-17
** Unidade Hazen (mg Pt-Co/L)	*** Unidades de Turbidez			
ANÁLISE BACTERIOLÓGICA				
Bactérias Heterotróficas	1	---	500	SM22 9215 B
Colimetria (coliformes totais e fecais) e contagem padrão em placas	----	----	----	SMEWW 9222 B
Clostrídios sulfito redutores	----	----	----	CETESB L5.403
Enterococos	----	----	----	SMEWW 9230 C
Pseudomonas aeruginosas	----	----	----	SMEWW 9213 E
PLANO E PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM (Estudo <i>in loco</i>)				POP-03-04 POP-03-05 POP-03-06 POP-03-07

Tabela 2.3 – Parâmetros vigentes do LAMIN da Portaria 540 do DNPM e da Portaria 2914 do Ministério da Saúde. Fonte: Modificado do CPRM (2015).

2.3 Geoestatística e variáveis regionalizadas

A Geoestatística será a ferramenta utilizada para a análise da variabilidade dos parâmetros de qualidade das águas minerais. Esta técnica foi criada pelo Professor George Matheron, na década de 60, por meio da sua tese intitulada “*Les variables régionalisées et leur estimation: une application de la théorie des fonctions aléatoires aux sciences de la nature*” (“As variáveis regionalizadas e a sua estimação: uma aplicação da teoria das funções aleatórias às ciências da natureza”) que foi publicada em 1965, em Paris (AGTERBERG (2003)). Além de aplicações

nos campos de mineração, geologia, agricultura, geografia, medicina geológica¹, oceanografia etc.; há grandes aplicações geoestatísticas na área de águas subterrâneas que remontam à década de 70.

Segundo GOOVAERTS (2014, p. 605), “o termo geoestatística designa o estudo estatístico de fenômenos naturais”. Ele também afirma em GOOVAERTS (1997, p. 3) que a “Geoestatística provém um conjunto de ferramentas para incorporar as coordenadas temporais e espaciais às observações nos dados processados”.

Os autores YAMAMOTO & LANDIM (2013, p.19) alegam o seguinte: “A Geoestatística tem por objetivo a caracterização espacial de uma variável por meio do estudo de sua distribuição e variabilidade espaciais, com determinação das incertezas associadas”.

GOOVAERTS (1997, p. 3) chama atenção para o fato de até a década de 80, a Geoestatística era vista somente como um meio de se descrever padrões espaciais e se interpolar os valores de um atributo de interesse em locais não amostrados.

Para entender o diferencial da Geoestatística, deve-se entender o conceito de variáveis regionalizadas. Está muito difundido o uso de variáveis aleatórias pela Estatística que usa os métodos clássicos, por isso é adequado que se faça a diferenciação entre variáveis aleatórias e variáveis regionalizadas. Uma boa conceituação sobre esta diferença foi feita por GUIMARÃES (2004, p.2), segundo este autor, os métodos clássicos de análise estatística pressupõem que as realizações das variáveis aleatórias são independentes entre si, ou seja, que as observações vizinhas de uma variável não são capazes exercem influências sobre as outras. O que o autor quis dizer é que para a estatística clássica, as variáveis não apresentam dependência espacial nem dependência temporal em relação às suas variáveis vizinhas.

O autor GUIMARÃES (2004, p.2) também nos explica que para os fenômenos naturais isso não ocorre. Os fenômenos naturais apresentam uma certa estruturação em relação aos seus valores vizinhos, sendo que as variáveis são aleatórias, elas apresentam um grau de dependência espacial e/ou temporal. A variância dos dados varia conforme o espaço em que coletamos os dados e/ou o intervalo de tempo em que as coletas são realizadas.

Finalmente, o autor GUIMARÃES (2004, p.2), acrescenta que a Estatística de Variáveis regionalizadas não se contrapõe à Estatística Clássica, pelo contrário, a Geoestatística vem para complementar o estudo das variáveis, pois por meio dela podemos estudar a correlação espacial e/ou temporal entre as variáveis observadas e estudar o comportamento aleatório das variáveis.

¹ Segundo o CPRM (2018), a Medicina Geológica ou Geologia Médica é a disciplina que estuda a influência de fatores geológicos e ambientais na saúde humana e dos animais.

Explicando a definição anterior para a água mineral, pode-se dizer que por exemplo: o teor de Ca^{+2} , que é um parâmetro químico de extrema importância para a composição da água, quando amostrado em um ponto A, exerce influência sobre o teor de Ca^{+2} que foi amostrado em um ponto B, ambos localizados no aquífero em estudo. O teor de Cálcio em B depende do valor que foi amostrado em A. Isso não ocorre quando se estudam variáveis aleatórias, onde um valor em determinado local ou ocorrência temporal independe do valor que foi amostrado anteriormente. Devido a este fato, os parâmetros físico-químicos e químicos da água mineral são estudados como variáveis regionalizadas por apresentarem dependência espacial e dependência temporal.

AMSTRONG (1998, p.16) define o conceito de variável regionalizada da melhor forma possível sem se perder em explicações que demandam muita abstração matemática para compreensão do estudante de geoestatística. Ela ensina que as variáveis regionalizadas possuem dois aspectos que podem parecer aparentemente contraditórios: **o seu aspecto randômico**, que explica suas irregularidades locais e o **aspecto estrutural** que reflete as tendências em larga escala. Tal constatação justifica o fato dos fenômenos naturais, com destaque para os fenômenos geológicos e hidrogeológicos, serem estudados de forma deficitária pelos métodos clássicos de estatística, pois os mesmos só consideram o aspecto randômico das variáveis e ignoram o seu aspecto estrutural.

2.4 O Princípio de Estacionariedade e a Função Variograma

O Princípio da Estacionariedade é o alicerce sobre qual a Geoestatística foi construída. CHILÈS & DELFINER (2012) definem o termo estacionariedade como sendo a capacidade de um fenômeno se manter homogêneo no espaço, ou seja, repetir-se em todo o espaço estudado.

No formalismo geoestatístico tem-se que no ponto x , a propriedade $Z(x)$ é uma variável aleatória com média m , variância S^2 e uma função de distribuição acumulada. No espaço existem infinitos pontos $\{x_i; i = 1, 2, 3, \dots\}$ em que os valores $\{Z(x)_i; i = 1, 2, 3, \dots\}$ são realizações das funções aleatórias com suas distribuições de probabilidade, conforme definem YAMAMOTO & LANDIM (2013, p.24).

Assume-se para a variável regionalizada descrita anteriormente que a média m é estacionária e independe da localização do ponto x , e segundo SOARES (2006, p. 18) pode ser definida pela média aritmética das realizações das variáveis aleatórias e expressa pela fórmula:

$$m = E[Z(x)] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.1)$$

Segundo o formalismo geoestatístico, mostrado em SOARES (2006), a variância é calculada por:

$$Var[Z(x)] = E\{[Z(x) - m]^2\} \quad (2.2)$$

Convém dizer que o princípio da Estacionariedade se trata de uma premissa da Geoestatística que não pode ser provada. PACHECO (2014, p.15) elucida que devemos julgar se a premissa de estacionariedade é válida conforme o espaço amostral com o qual estivermos trabalhando. O autor PACHECO (2014, p.15) nos explica que quando afirmarmos que a estacionariedade de um conjunto de amostras encontra-se centrada na sua média, estamos afirmando que os valores das amostras são suficientemente homogêneos, e isso nos permite validar esta representatividade. O autor quer dizer que o conjunto de amostras tomadas apresenta um mesmo valor para a média.

A representatividade à qual o autor se refere, é a representatividade de uma realização $Z(x)$ da função aleatória, que foi utilizada para se embasar o modelo probabilístico geoestatístico.

Conforme explicado por YAMAMOTO & LANDIM (2013, p.34), a segunda premissa do formalismo geoestatístico é a que explica a variação de duas variáveis aleatórias, a covariância de uma variável regionalizada para pontos separados por uma distância h pode ser calculada como:

$$C(h) = E\{[Z(x+h) - m][Z(x) - m]\} \quad (2.3)$$

Onde h é um vetor entre os dois pontos x_1 e x_2 no espaço tridimensional e E é a esperança matemática. No ponto $h = 0$, $C(h)$ é igual à variância da variável regionalizada.

Com base nesta premissa foi criada a função variograma que mede a variância do incremento $[Z(x+h) - Z(x)]$ por meio da expressão:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\} \quad (2.4)$$

Diante de tantas premissas que são assumidas, a mais relevante é a que representa o comportamento das variáveis regionalizadas ou hipótese de estacionariedade de 2ª ordem.

Conforme elucidado por GOOVAERTS (1997, p.71), considera-se que não se necessita de uma média constante e variância finita para a função aleatória; mas sim que os valores dos incrementos da função aleatória $[Z(x+h) - Z(x)]$ sejam estacionários de segunda ordem, ou seja, os incrementos da função aleatória devem ter a variância finita, o que resulta nas seguintes equações para a função variograma extraídas de YAMAMOTO & LANDIM (2013, p.35) e serão mostradas a seguir:

$$Var[Z(x+h) - Z(x)] = E \left\{ [Z(x+h) - Z(x)]^2 \right\} = 2\gamma(h) \quad (2.5)$$

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n E \left\{ [Z(x+h) - Z(x)]^2 \right\} \quad (2.6)$$

Onde n é o número de pares de pontos para uma determinada distância h .

Conforme convenção da literatura, o que pode ser averiguado em YAMAMOTO & LANDIM (2013, p.35), convém chamar a expressão $2\gamma(h)$ de **variograma** que corresponde à equação expressa em (2.5). A expressão $\gamma(h)$ recebeu a denominação de **semivariograma** e corresponde a equação (2.6). A interpretação geométrica dos dois conceitos é feita por JOURNEL (1989, p. 6).

Diante da existência de tantas definições difíceis e extensas sobre variograma que existem na literatura, pode-se dizer de forma simplificada e resumida que o variograma é a função que expressa o comportamento de uma variável regionalizada, expressando o seu aspecto randômico e o seu aspecto estrutural numa única expressão matemática. Esta função matemática mostra o comportamento da variável regionalizada ao mostrar a variância do incremento $[Z(x+h) - Z(x)]$ por meio das equações 2.5 e 2.6.

A figura 2.1 mostra o exemplo de um variograma e seus parâmetros que serão explicados no item seguinte desta revisão bibliográfica. Esta figura é proveniente do trabalho dos autores GREGO et al (2014, p. 78) que explicam os princípios de Geoestatística para serem aplicados na agricultura de precisão de uma forma bem didática e sem a linguagem rebuscada e de difícil entendimento que se costuma encontrar na literatura sobre Geoestatística.

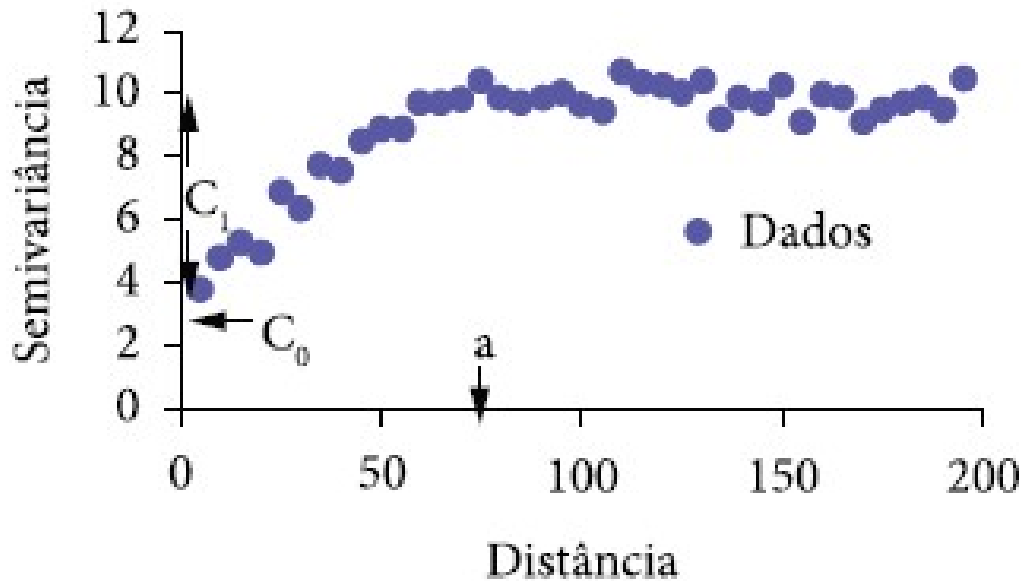


Figura 2.1 – Exemplo de um semivariograma com seus parâmetros C_0 (efeito pepita), C_1 (variância estrutural) e a corresponde ao alcance. Fonte: GREGO et al (2014, p. 78).

2.5 Os componentes do semivariograma

No presente trabalho será utilizada a notação semivariograma que é mais comumente usada na literatura. A função semivariograma é definida por meio dos seguintes conceitos:

- O **alcance (range) a** é a distância na qual a função $\gamma(h)$ atinge um patamar (LANDIM, 2006, p. 23);
- O **efeito pepita (C_0) ou nugget effect** é definido como sendo um valor positivo quando h tende a zero. Segundo TIMBOLA (2011, p. 37) este valor revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Os autores YAMAMOTO & LANDIM (2013, p.41) explicam que o efeito pepita pode ser resultado tanto da variabilidade do fenômeno espacial em estudo como da escala de amostragem. ISAACS & SRIVASTAVA (1989, p. 143) enfatizam que essa descontinuidade é devida a erros de amostragem e variabilidade em escala curta. Esses dois fatores são responsáveis por fazer com que os pontos amostrados em um intervalo espacial ou temporal muito pequeno, possam apresentar valores muito diferentes.
- O **patamar ($C = C_0 + C_1$)** é o valor na função semivariograma que corresponde ao alcance. Quando o semivariograma atinge o patamar os dados não apresentam

maior dependência e os dados podem ser estudados pelos métodos estatísticos clássicos.

- A contribuição C_1 (o sill) é a diferença entre o patamar e o efeito pepita.

A figura 2.2 mostra graficamente os parâmetros da função semivariograma (LUNDGREN, 2011, p. 27):

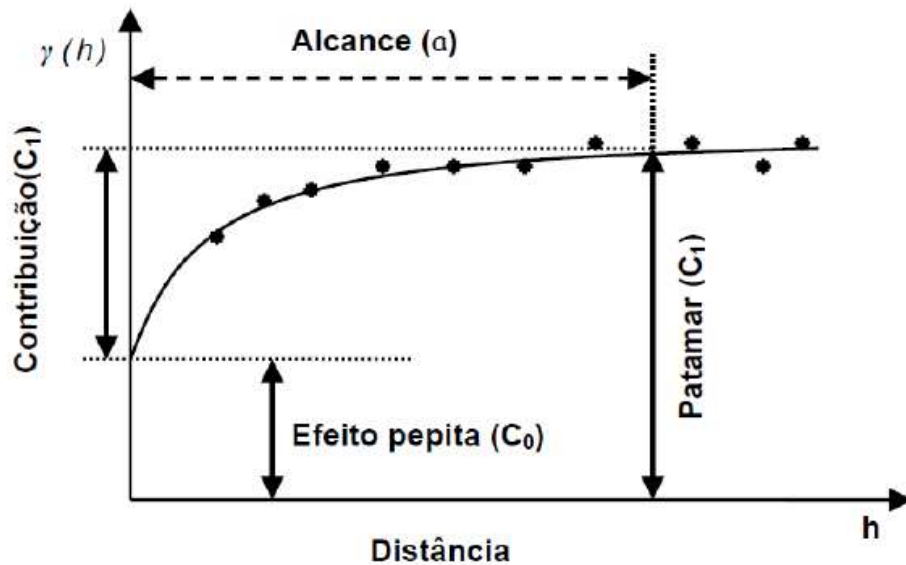


Figura 2.2 – Gráfico esquemático da função semivariograma. Fonte: LUNDGREN (2011, p. 27)

Uma abordagem gráfica interessante sobre os parâmetros do semivariograma é dada por TIMBOLA (2011, p.34) e é mostrada na figura 2.3 a seguir:

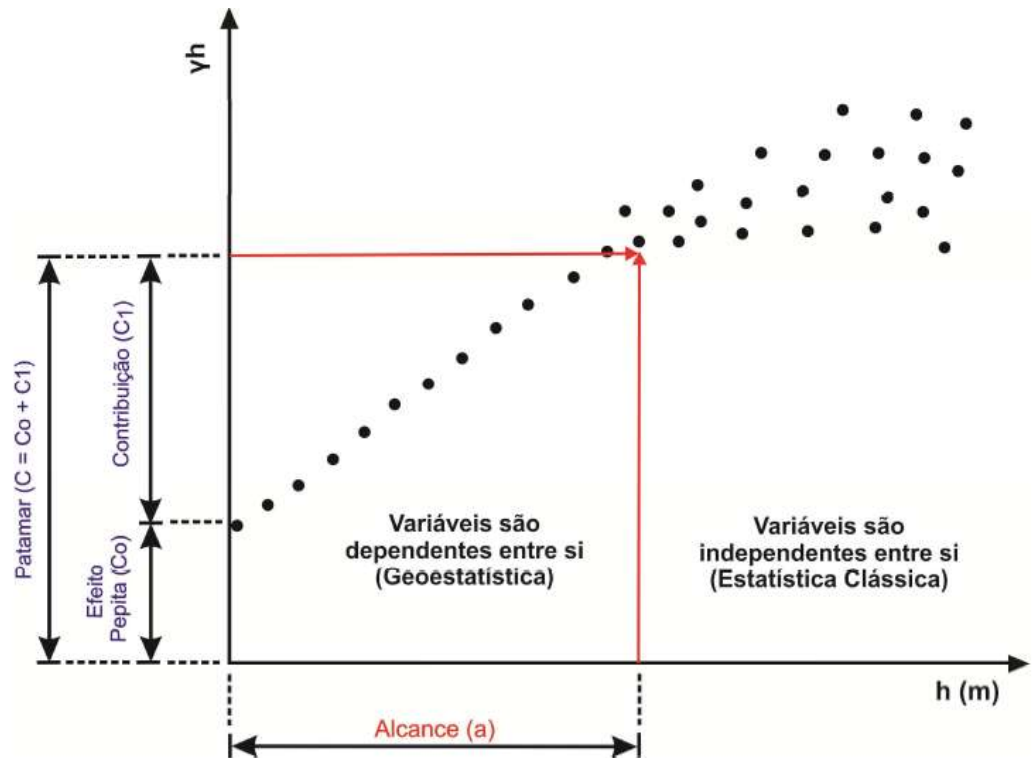


Figura 2.3 – Semivariograma experimental e os seus parâmetros. Fonte: TIMBOLA (2011, p. 34)

Esta abordagem é importante porque explica a necessidade de usar a função variograma. Por meio da figura é possível entender que os fenômenos naturais se comportam como variáveis regionalizadas até atingirem o patamar ($C_0 + C_1$) que é a soma do efeito pepita (C_0) mais a contribuição (C_1). Até o patamar ser atingido, existe a correlação espacial entre as variáveis. Após o patamar ser atingido, não há mais correlação espacial, as variáveis “deixam de ser regionalizadas” e voltam a ser independentes entre si. Isto faz com que elas voltem a ser o objeto de estudo dos métodos estatísticos clássicos.

O uso do variograma ou semivariograma advém da necessidade de descrever por meio de funções adequadas o comportamento regionalizado da variável de interesse durante este intervalo caracterizado pelo alcance da variável e do patamar que corresponde a esse alcance. A partir do ponto determinado pelo patamar e pelo alcance é possível descrever a variável pelos métodos clássicos de estatística.

Por último, outro fenômeno importante a ser ressaltado é a relação entre a covariância e a função semivariograma. À medida que a variância do semivariograma aumenta, a covariância diminui, porque quando o semivariograma atinge o patamar, a partir desse ponto, os dados perdem a correlação espacial, ou melhor, dizendo, a independência entre os pontos aumenta. A figura 2.4 a seguir ilustra tal fato (LEBRENZ, 2013, p. 17):

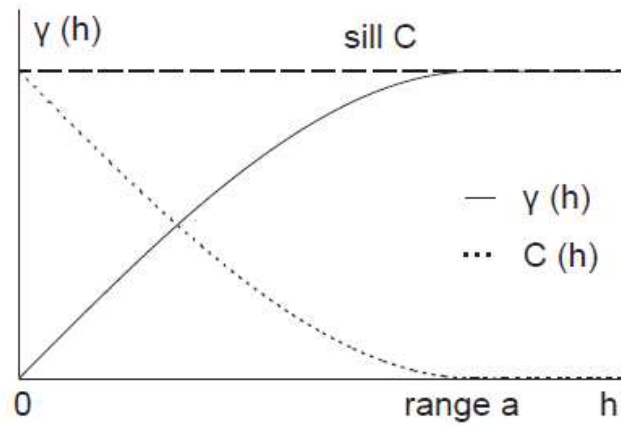


Figura 2.4 – As propriedades básicas da covariância e do variograma para a estacionariedade de segunda ordem. Fonte: LEBRENZ (2013, p.17).

2.6 Cálculo dos variogramas experimentais com distribuição regular

Conforme definem YAMAMOTO & LANDIM (2013, p.37), no caso se ter uma malha de amostragem regular, pode-se calcular o variograma diretamente com base nos dados amostrais.

Uma malha amostral regular é mostrada na figura 2.5 a seguir:

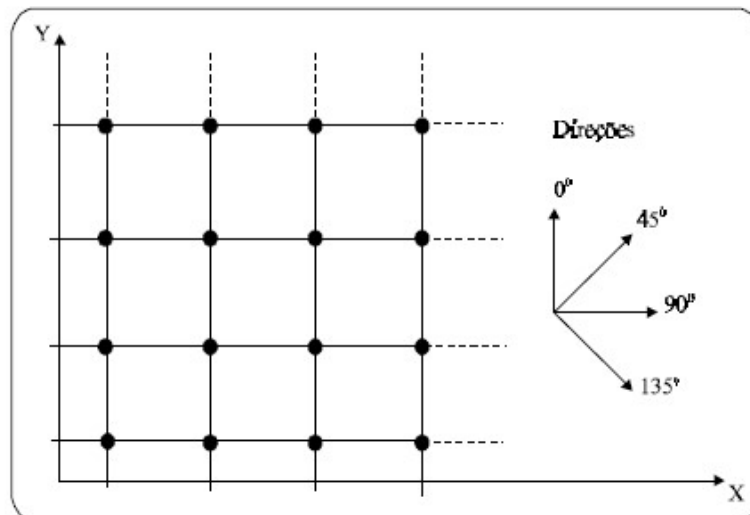


Figura 2.5 – Amostras regularmente espaçadas em duas dimensões. Fonte: CAMARGO (1998, p. 5.7)

Para explicar como são calculados os variogramas em distribuição regular, convém transcrever a equação 2.6 novamente:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n E \left\{ [Z(x+h) - Z(x)]^2 \right\} \quad (2.6)$$

Quando se tem os pontos regularmente espaçados, os pares de pontos encontrados para uma determinada distância h , ao longo de uma direção, são usados para calcular as diferenças ao quadrado, as quais são acumuladas para o cálculo da média conforme mostra a equação 2.6 e explicam YAMAMOTO & LANDIM (2013, p.37).

Os cálculos do variograma são mostrados por CAMARGO (1998, p. 5.8) para a malha regular que foi anteriormente mostrada na figura 2.6 para as direções 0° , 45° , 90° e 135° ; na figura 2.6. Ela mostra os cálculos que foram feitos para as distâncias h que assumem os valores $h = d$, $h = 2d$ e $h = 3d$.

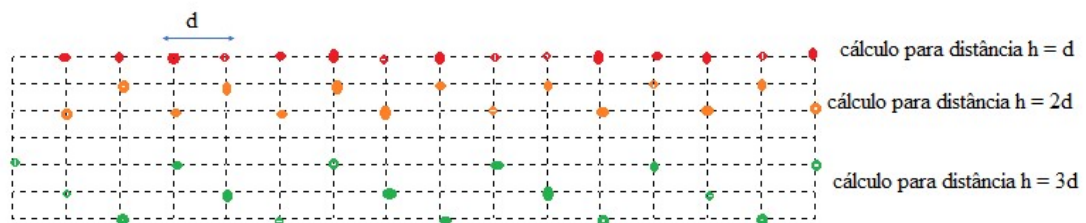


Figura 2.6 – Ilustração para o cálculo do semivariograma a partir de amostras regularmente espaçadas. Fonte: Modificado de CAMARGO (1998, p. 5.8).

Na prática, devido ao custo envolvido na amostragem, torna-se difícil encontrar essa regularidade amostral numa mina, na amostragem de um aquífero ou na amostragem para agricultura, dentre outros exemplos. É mais comum a construção de variogramas com os dados experimentais com uma malha amostral irregularmente espaçada com fins de minimizar os custos envolvidos na amostragem.

2.7 Cálculo dos variogramas experimentais com distribuição irregular

Conforme dito anteriormente, o uso de malha irregular é o mais comumente usado. Devido a esse uso, faz-se necessário o uso de limites de tolerância para a direção e distância, de forma a tornar possível o cálculo do variograma experimental, conforme explica CAMARGO (1998, p. 5.9).

São definidos os seguintes parâmetros para o semivariograma mostrado na figura 2.7 a seguir:

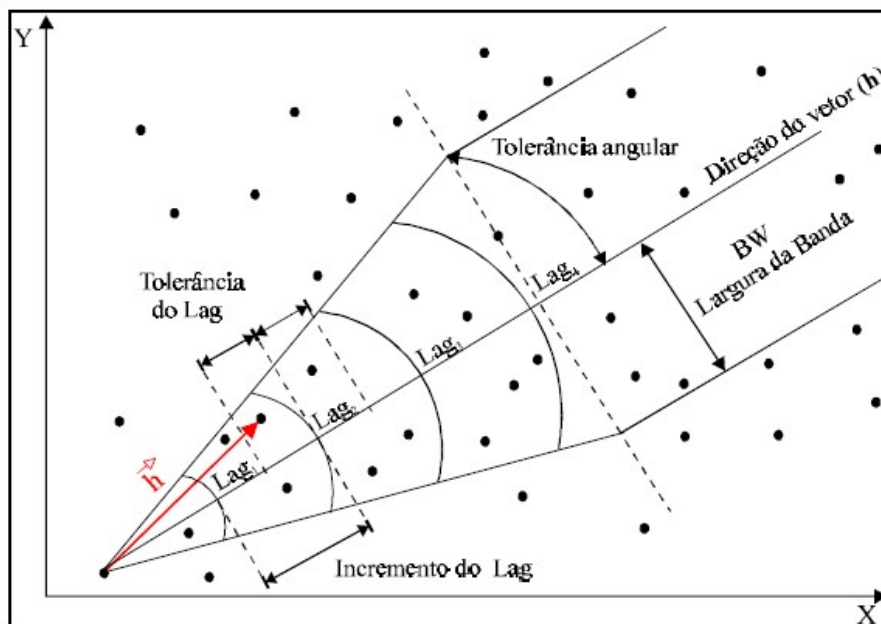


Figura 2.7 – Parâmetros para o cálculo do semivariograma a partir de amostras irregularmente espaçadas em duas dimensões. Fonte: CAMARGO (1998, p. 5.9).

O parâmetro **lag** segundo CAMARGO (1998, p. 5-9) é a distância pré-definida que é utilizada para o cálculo do semivariograma. Já GOOVAERTS (1997, p. 26) define **lag** como sendo classes de distâncias nas quais os pares de dados são agrupados para o cálculo do semivariograma.

Com base nos parâmetros mostrados na figura 2.7, primeiramente o semivariograma é calculado para o primeiro **lag**, numa determinada direção estabelecida mais as direções resultantes na tolerância angular definida. O incremento a ser dado para o cálculo do lag seguinte corresponde à distância entre **lags** e a tolerância do **lag** conforme mostra a figura 2.7.

Autora ARMSTRONG (1998, p. 49) não utiliza esta terminologia para se referir aos parâmetros do semivariograma com dados irregularmente espaçados. Ela só usa os termos classes de distâncias e classes de angulares para se referir aos termos **lags** e **tolerância angular** respectivamente. Já os autores DEUTSCH & JOURNEL (1998), GOOVAERTS (1997), ISAAKS & SRIVASTAVA (1989) e KITANIDIS (1997) utilizam a terminologia mostrada na figura 2.7 que é comumente utilizada na literatura sobre geoestatística.

Por último, o parâmetro largura de banda ou BW (Bandwidth) é definido por CAMARGO (1998, 5-9) como sendo “o valor de ajuste a partir do qual se restringe o número de pares de observações para o cálculo do semivariograma”.

Estes parâmetros podem ser usados tanto na variografia com dados regularmente espaçados como na variografia com dados irregularmente espaçados conforme atestam os autores GOOVAERTS (1997) e ARMSTRONG (1998).

2.8 Tipos de Variogramas

Conforme o seu comportamento na origem, o variograma pode ser classificado como em quatro tipos: **parabólico, linear, efeito pepita e efeito pepita puro**. (PEREIRA, 2013).

No comportamento parabólico, o variograma descreve uma curva parabólica próxima à origem, significando que se trata de uma função aleatória contínua e diferenciável, conforme explica o autor (PEREIRA, 2013). A figura 2.8a mostra o variograma com comportamento parabólico junto à origem.

O variograma com comportamento linear é caracterizado por se apresentado como uma reta tangente oblíqua à origem. (PEREIRA, 2013).

O autor YAMAMOTO (2001) afirma que este tipo de variograma representa uma continuidade média das amostras a pequenas distâncias e não é uma função diferenciável na origem. Este tipo de variograma é mostrado na figura 2.8b.

O variograma com efeito pepita apresenta uma descontinuidade na origem. Isso mostra que o variograma não tende a zero quando h tende a zero.

YAMAMOTO & LANDIM (2013, p.41) explicam que esta descontinuidade pode ser reflexo de erros de amostragem e/ou da microvariabilidade do depósito. No presente trabalho será aplicada a variografia temporal, com relação ao efeito pepita, o autor ABZALOV (2011, p. 241) esclarece que o efeito pepita é uma porcentagem da variância total que expressa os erros de medição que foram cometidos no processo de amostragem. Este autor acrescenta que o efeito pepita pode representar as estruturas aninhadas que têm intervalos menores que o tempo de amostragem. O autor enfatiza que o efeito pepita pode conter os erros de medição ou pode conter as estruturas que foram medidas no intervalo menor que tempo de amostragem, e também o efeito pepita pode conter os dois fenômenos mencionados anteriormente.

Na figura 2.8c é mostrado o comportamento de uma variograma com efeito com pepita.

Por último, tem-se o efeito pepita puro que indica que não há correlação espacial entre os pontos entre x e $x + h$, para qualquer $h \neq 0$, conforme explicam os textos de COSTA et al (2014, p. 291) e BERTOLANI & VIEIRA (2011, p. 990). A figura 2.8d mostra este tipo de variograma.

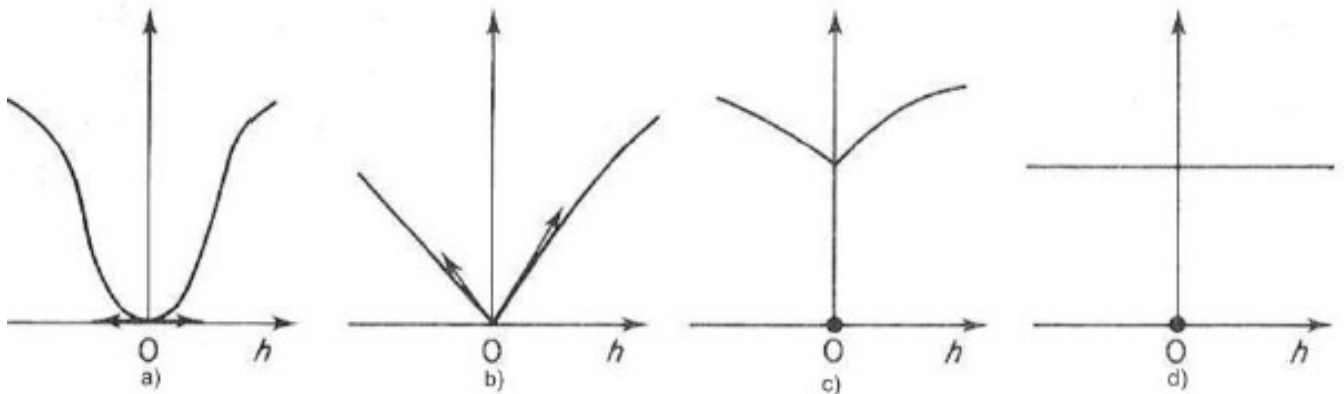


Figura 2.8 – Comportamento do variograma na origem. a) Parabólico b) Linear c) Efeito Pepita e d) Efeito Pepita Puro. Fonte: PEREIRA (2013, p. 42).

Outra classificação que é dada para os modelos teóricos de variogramas baseia-se no fato do variograma apresentar ou não patamar. Os variogramas sem patamar, conforme atestam YAMAMOTO & LANDIM (2013, p.43) devem ser usados nos casos em que a amostragem é insuficiente ou incompleta, ou nos casos em que há uma tendência nos dados.

Segundo os autores YAMAMOTO & LANDIM (2013, p.43), os variogramas sem patamar são representados pelo variograma de potência. A fórmula do variograma de potência é mostrada a seguir (AMSTRONG, 1988, p. 37):

$$\gamma(h) = Ch^\alpha, \text{ onde } 0 < \alpha \leq 2 \quad (2.7)$$

Será dada maior atenção ao grupo de variogramas com patamar, cujo uso é mais comum na literatura geostatística. Há diversos modelos para variogramas com patamar definidos na literatura, mas os mais comuns que explicam a grande parte dos fenômenos espaciais segundo AMSTRONG (1988) são mostrados a seguir:

1) Modelo esférico

O modelo esférico é expresso pela seguinte função:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1,5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \text{ para } h < a \quad (2.8a)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \text{ para } h \geq a \quad (2.8b)$$

Onde a é o alcance ou range. C_0 é o efeito pepita e C_1 é o sill do variograma.

2) Modelo exponencial

O modelo exponencial é expresso pela seguinte função:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - e^{-\left(\frac{h}{a}\right)} \right], h \neq 0 \quad (2.9)$$

Onde a é o alcance ou range. C_0 é o efeito pepita e C_1 é o sill do variograma.

3) Modelo gaussiano

O modelo gaussiano é expresso pela seguinte função:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - e^{-\left(\frac{h}{a}\right)^2} \right], h \neq 0 \quad (2.10)$$

Onde a é o alcance ou range. C_0 é o efeito pepita e C_1 é o sill do variograma. A figura 2.9 mostra um exemplo dos três modelos gaussiano, esférico e exponencial e os compara entre si, conforme foi feito por GIRALDO-HENAO (2003, p. 26).

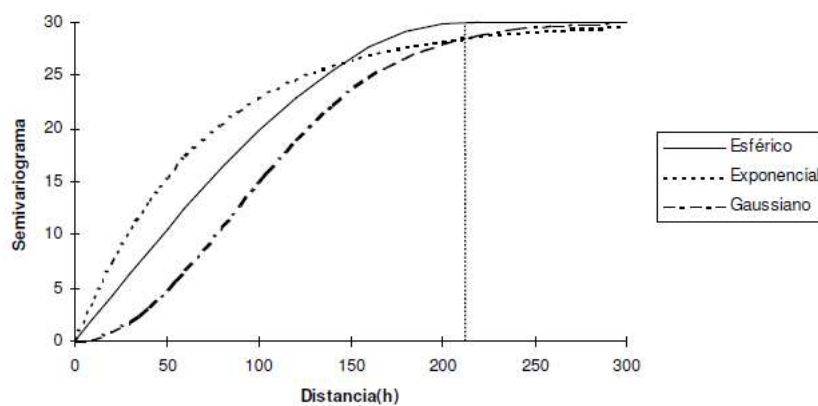


Figura 2.9 – Comparação entre os modelos exponencial, esférico e gaussiano. A linha pontilhada vertical representa o range no caso do modelo esférico e o range efetivo nos modelos exponencial e gaussiano. Este tem o valor de 210, em uma escala simulada entre 0 e 300. O valor do patamar é 30 e do efeito pepita é zero. Fonte: GIRALDO-HENAO (2003, p. 26).

4) Modelo cúbico

O modelo cúbico é expresso pela seguinte função composta:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[7 \left(\frac{h}{a} \right)^2 - \frac{35}{4} \left(\frac{h}{a} \right)^3 + \frac{7}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^5 - \frac{3}{4} \left(\frac{h}{a} \right)^7 \right], \text{ para } h < a \quad (2.11a)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, \text{ para } h \geq a \quad (2.11b)$$

Onde a é o alcance ou range. C_0 é o efeito pepita e C_1 é o sill do variograma.

A figura 2.10 a seguir mostra um exemplo de variograma com o modelo tipo cúbico.

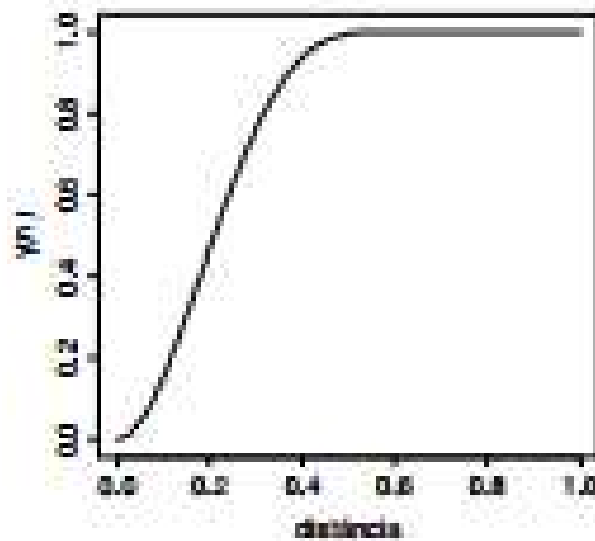


Figura 2.10–Modelo de variograma tipo cúbico. Modificado de BICALHO (2008, p. 26)

5) Modelo do efeito buraco ou hole effect

O efeito buraco ou hole effect é assim definido por SANTOS et al (2002) como sendo um modelo que representa um fenômeno periódico ou cíclico, este modelo contém ondulações no variograma. Estes acrescentam que o efeito buraco não costuma contribuir para a variância total do fenômeno estudado, mas é possível identificar a frequência e a amplitude do fenômeno estudado quando interpretamos o variograma dos dados.

O modelo do efeito buraco ou hole effect é expresso pela seguinte função:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \frac{\left[\pi \left(\frac{h}{a} \right) \right]}{\left[\pi \left(\frac{h}{a} \right) \right]} \right\} \quad (2.12)$$

Onde a é o alcance ou range. C_0 é o efeito pepita e C_1 é o sill do variograma.

Pode-se observar o uso da função seno no modelamento do variograma, o que mostra o caráter cíclico do fenômeno estudado, conforme explicam BETTU & SOARES (2013). Na figura 2.11 a seguir pode ser visto um exemplo de um variograma efeito buraco modelado pela função senoidal.

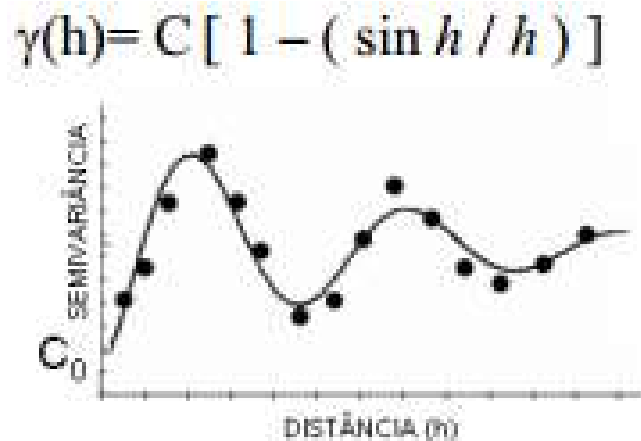


Figura 2.11 – Modelo de variograma tipo efeito buraco modelado pela função seno. Modificado de BETTU & SOARES (2013, p. 122).

É interessante salientar que já estamos acostumados a usar as funções seno e cosseno para trabalharmos com fenômenos cíclicos na Física, na Álgebra e em Cálculo. Como lidamos com muitos fenômenos naturais na Geoestatística, e que muitos destes fenômenos são cíclicos ou periódicos, esperava-se que fosse possível modelar os dados do variograma por meio de uma função cíclica que contivesse a função seno conforme mostrada na figura 2.11.

6) Modelo pentaesférico

O modelo pentaesférico é expresso pela seguinte função composta:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{15}{8} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{5}{4} \left(\frac{h}{a} \right)^3 + \frac{3}{8} \left(\frac{h}{a} \right)^5 \right], \text{ para } h < a \quad (2.13a)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, \text{ para } h \geq a \quad (2.13b)$$

Onde a é o alcance ou range. C_0 é o efeito pepita e C_1 é o sill do variograma. A curva do modelo pentaesférico é mais gradual que a do esférico conforme comparação de SILVA (2006, p. 59). Esse fato é mostrado na figura 2.12 a seguir:

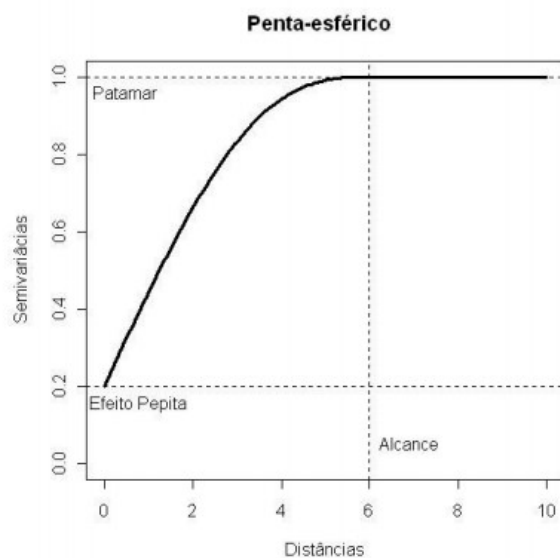


Figura 2.12 – Exemplo de semivariograma pentaesférico. Fonte: SILVA (2006, p. 59)

Convém ressaltar o fato de que apenas os semivariogramas tipo esférico, gaussiano e exponencial são realmente utilizados na prática para explicar os fenômenos naturais. Essa constatação é feita por YAMAMOTO & LANDIM (2013) e exemplificada por outros autores como DEUTSCH & JOURNAL (1998) e ARMSTRONG (1998), ou por meio de vários artigos científicos que usam modelamento variográfico.

2.9 O Conceito de Suporte e de Mudança de Suporte

O autor KRIGE (1999, p. 157) define o **termo suporte**, da forma mais completa presente na literatura. Para o autor KRIGE (1999, p. 157), o suporte é a parcela física de minério onde está contido o teor de minério que está sendo estudado como uma variável. O autor explica que quando se aumenta o suporte e se mantém a mesma área coberta, ocorrerá um decréscimo da variância da distribuição de frequência do teor. O autor enfatiza que o aumento do suporte ocasiona uma diminuição na dispersão dos dados amostrados. Para KRIGE (1999, p. 157), podemos supor que em uma mesma seção de uma mina tenhamos suportes diferentes (volumes diferentes), as distribuições dos dados de cada suporte terão a mesma média, porém terão um grande alcance de variâncias, as variâncias serão menores para suportes maiores, e para suportes menores, os dados apresentarão variâncias maiores.

Resumindo a definição acima de KRIGE (1999), pode-se entender o suporte como sendo o volume, a massa, o tamanho e/ou a forma de uma amostra de minério ou bloco de minério, conforme explicam os autores ARMSTRONG (1998, p. 8) e MORGAN (2005, p. 20).

Segundo Wackernagel (1998, p. 64-65), nas aplicações costuma-se usar dois ou mais suportes conforme mostra a figura 2.13. O autor também acrescenta que na mineração, as amostras são coletadas em um suporte que pode ser considerado como pontual (onde o volume é de poucos cm^3). Subsequentemente, blocos pequenos (volume v igual a m^3) ou painéis (volume V maiores que 100 m^3) deverão ser estimados dentro de depósitos D , para este caso o suporte usado é o volume. Quando lidamos com a poluição do solo, trabalhamos com unidades de superfície s que são diferenciadas de unidades de superfície maiores S , logo o suporte utilizado é uma superfície. Por último, é muito comum na indústria de higiene, a definição do problema em termos de suporte de tempo: as medições médias são feitas em intervalos de tempo curtos Δt ; com isso devemos estimar o excesso sobre um valor limite definido para uma jornada de trabalho T .

No caso da água mineral que é objeto de estudo desta tese, o suporte será temporal. A unidade de tempo de coleta de amostras é $t = 1 \text{ dia}$. Compararemos as medidas coletadas a cada um dia, com as medidas que foram coletadas quando T for o dobro do valor de t . Partimos de $t = 1 \text{ dia}$ e comparamos com $T = 2 \text{ dias}$; depois partimos de $t = 2 \text{ dias}$ e comparamos com $T = 4 \text{ dias}$ e assim por diante até chegarmos ao intervalo $T = 2048 \text{ dias}$. Veja na figura 2.13 que a amostragem da água mineral será feita no suporte semelhante ao que é usado na indústria de higiene.

Na mineração costuma-se usar o suporte volumétrico com 3 dimensões (3D), no estudo na poluição do solo usa-se o suporte bidimensional (2D) e no caso da indústria de higiene e no caso da indústria de água mineral, que é o objeto desta tese, usamos o suporte unidimensional (1D). Conforme ilustrado na figura 2.13.

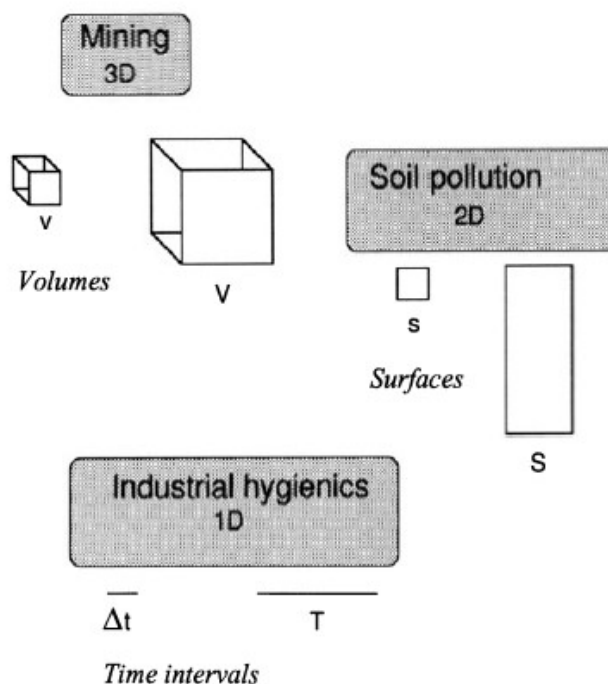


Figura 2.13 – Suportes nas dimensões 1D, 2D e 3D em diferentes aplicações. Fonte: WACKERNAGEL (1998, p. 65)

Quanto às diferenças entre as variâncias que ocorrem dentro de uma mina, às quais se referem o autor KRIGE (1999, p. 157), elas são decorrentes do fenômeno que chamamos **efeito suporte**.

CRUZ JUNIOR & REMACRE (2001, p.1) nos explicam que para entendermos o **efeito suporte**, é preciso supor que temos uma reserva mineral que se encontra dividida em blocos grandes que chamamos de **V**. Os blocos **V** se encontram subdivididos em pequenos blocos denominados **v**. O teor de minério no bloco pequeno **v** é chamado de $Z(v_i)$, o teor de minério no bloco grande **V** é denominado de $Z(V_i)$. Para os dados do bloco menor **v**, temos a esperança matemática do teor de minério igual a $E(Z(v_i))$. Para os dados do bloco maior **V**, temos a esperança matemática igual $E(Z(V_i))$. Conforme nos explicou o autor KRIGE (1999, p. 157), as médias ou esperanças matemáticas dos blocos **v** e **V** são iguais. Expressando isto matematicamente teremos: $E(Z(v_i)) = E(Z(V_i))$. O autor KRIGE (1999, p. 157) ressaltou que para o suporte menor a dispersão é maior, e para o suporte maior a dispersão é menor, então para o bloco menor **v** teremos um maior valor para variância dos dados. Para o suporte maior, então teremos uma menor dispersão dos dados, logo os dados apresentarão um valor menor para variância. Escrevendo isso de forma matemática teremos: $var(Z(v_i)) > var(Z(V_i))$. Podemos presumir os blocos **v** e **V** apresentam dois histogramas

diferentes, os histogramas apresentam médias iguais e variâncias diferentes. Esta diferença entre os histogramas dos blocos v e V , é que chamamos de **efeito suporte**.

O autor ZANETTI (2011, p. 38) nos alerta que uma das formas de se calcular o efeito suporte é por meio do cálculo das variâncias, pois a variância é um parâmetro que mede a dispersão em torno de um valor médio.

Há muitos trabalhos na literatura que mostram como se comporta a variância quando se altera o suporte dos dados e definem algebricamente o efeito suporte. Autores como WACKERNAGEL (2003, p. 70), CHILÈS & DELFINER (2012) e CHRISTAKOS (2012, p. 168-170) dedicam capítulos das suas obras para esclarecem o quão importante é o efeito suporte.

KENTWEL et al (2012, p. 7) referem-se ao termo efeito suporte como sendo a relação entre o volume e a variância. Esta é uma forma mais simples de se definir o termo **efeito suporte**. Acredito que esta seja a forma mais didática e compreensível de se definir o termo efeito suporte.

A figura 2.14 contida no trabalho dos autores KENTWEL et al (2012, p. 7) serve para nos mostrar a relação entre a variância e o tamanho do suporte no histograma de distribuição de frequências que nos foi explicada por ISAACS & SRIVASTAVA (1989, p. 463).

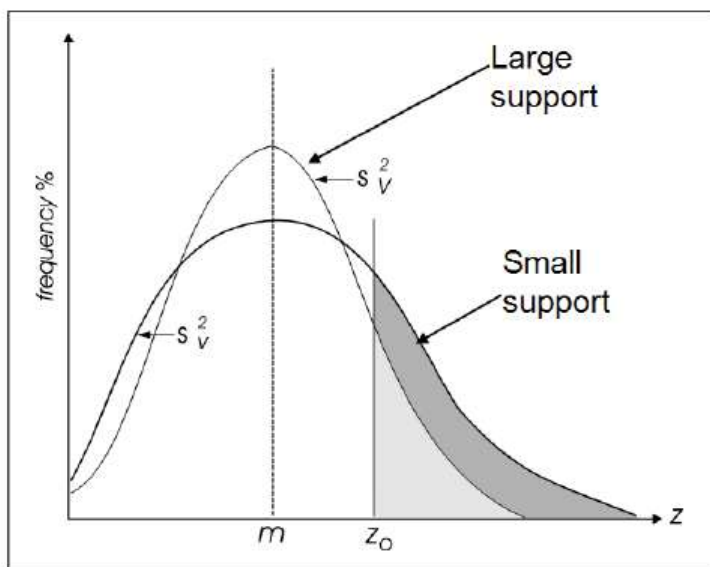


Figura 2.14 – Efeito do tamanho do volume (tamanho do suporte) no histograma. Notação m = média, z_0 = limiar, S_v^2 =suporte pequeno e S_V^2 = suporte grande. Fonte: KENTWEL et al (2012, p. 7).

É oportuno dizer que a relação entre volume e variância à qual os autores KENTWEL et al (2012, p.7) se referem como efeito suporte pode ser quantificado conforme mostram os trabalhos dos autores (MARQUES & COSTA, 2014a, p. 599) e KEIL (2014, p. 81). Ambos os autores nos explicam que podemos determinar a variância dentro de um suporte maior num depósito D por meio

da **relação de Krige**. A relação de Krige diz que se pode adicionar variâncias para se obter uma terceira variância desconhecida, por isso esta relação também é chamada de **aditividade das variâncias**.

Os autores MARQUES & COSTA (2014a, p. 599) e KEIL (2014, p. 81) ensinam que a relação de Krige determina que a dispersão de uma unidade pequena v , dentro de um depósito D é igual a soma da dispersão dentro de uma unidade grande V , com a dispersão das unidades V dentro do depósito D . Com base nisso, tem-se esta relação pode-se calculada por meio da seguinte fórmula:

$$\sigma^2(v/D) = \sigma^2(v/V) + \sigma^2(V/D) \quad (2.14)$$

Onde:

$\sigma^2(v/D)$ = dispersão de uma unidade pequena v , dentro de um depósito D .

$\sigma^2(v/V)$ = dispersão dentro de uma unidade grande V

$\sigma^2(V/D)$ = com a dispersão das unidades V dentro do depósito D

Por último, convém explicar que a premissa de que a média é igual para todos os suportes, não se trata de uma convenção arbitrária. O autor (MATHERON, 1984 apud CRUZ JUNIOR & REMACRE, 2001) obteve essa premissa quando fez uma analogia com os dois princípios da termodinâmica, primeira e segunda lei da Termodinâmica, que podem revistos no trabalho dos autores HALLIDAY et al (2006) para que se compreenda a analogia que foi feita. Com base nessa analogia, o autor (MATHERON, 1984 apud CRUZ JUNIOR & REMACRE, 2001) nos apresenta os seguintes princípios:

- a média permanece constante e;
- as curvas de parametrização se degradam quando o suporte aumenta.

No presente trabalho é necessário que se tome cuidado com a mudança de suporte, visto que em diversas ocasiões foram coletadas amostras das fontes de águas minerais que possuíam volumes diferentes.

Os resultados das análises encontram-se no item A da seção de anexos desta tese, nas tabelas deste item é possível ver quais os tipos de embalagens que foram coletadas nos estabelecimentos comerciais para as 16 fontes analisadas. Para os diversos tipos de embalagens coletadas, não foram observadas grandes diferenças com relação aos valores obtidos para os parâmetros analisados. Neste caso, pode-se dizer que o suporte do volume analisado não exerceu influência sobre os teores analisados. Mas como o presente trabalho faz uso de Geoestatística, é preciso sempre estar atento ao fato de que o suporte amostral é algo importante e relevante, e deve-se por isso checar a influência do suporte amostral na obtenção das amostras e no cálculo dos variogramas.

Tem-se que levar em consideração a mudança de suporte para as fontes analisadas para que se possa fazer corretamente o teste de heterogeneidade de Pierre Gy. Falar-se-á mais sobre esse assunto no item 2.17 da presente tese.

2.10 Variância de Extensão

2.10.1 Dedução do Conceito de Variância de Extensão

Segundo Matheron (2009, p. 57-58), a ideia de variância de extensão assume que se tem uma função randômica $Y(x)$ onde a estacionariedade é de grau 2, a covariância da função $Y(x)$ é denominada de $K(h)$. Os termos $Z(v)$ e $Z(v')$ correspondem aos teores médios de dois domínios v e v' num espaço de dimensão n , que é expresso pelas integrais mostradas nas equações a seguir:

$$Z(v) = \frac{1}{v} \int_v Y(x) dx \quad (2.15)$$

$$Z(v') = \frac{1}{v'} \int_{v'} Y(x) dx \quad (2.16)$$

Como v e v' são limitados, os termos $Z(v)$ e $Z(v')$ têm infinitas variâncias. A variância do termo $Z(v)$ é expressa por meio da seguinte equação:

$$\sigma^2(v) = \frac{1}{v^2} \int_v dx \int_v K(x - y) dy \quad (2.17)$$

O termo $\sigma(v, v')$ corresponde à covariância entre $Z(v)$ e $Z(v')$ e é calculado por meio da integral abaixo:

$$Z(v)Z(v') = \frac{1}{vv'} \int_v Y(x)dx \int_{v'} Y(y)dy \quad (2.18)$$

Rearranja-se a equação 2.18 acima em forma de expressá-la em termos da esperança matemática das funções $Y(x)$ e $Y(y)$ conforme mostrado a seguir:

$$\sigma(v, v') = \int_v dx \int_{v'} E[Y(x)Y(y)]dy = \frac{1}{vv'} \int_v dx \int_{v'} K(x - y)dy \quad (2.19)$$

O termo $E[Y(x)Y(y)]$ corresponde à esperança matemática das funções $[Y(x)Y(y)]$.

Segundo Matheron (2009, p. 58), nós chamamos de variância de extensão de v para v' (ou de v' para v), a variância do erro $Z(v') - Z(v)$ que nós fazemos ao atribuir ao suporte v' o teor médio $Z(v)$ que foi medido no suporte v .

A variância de extensão costuma ser representada pelo termo σ_E^2 cuja equação é escrita assim:

$$\sigma_E^2 = E[Z(v') - Z(v)]^2 = \sigma^2(v) + \sigma^2(v') - 2\sigma(v, v') \quad (2.20)$$

Agora vamos substituir as equações 2.15, 2.16, 2.17 e 2.19 na equação 2.20 desta forma:

$$\sigma_E^2 = \frac{1}{v^2} \int_v dx \int_v K(x - y) dy + \frac{1}{(v')^2} \int_{v'} dx \int_{v'} K(x - y)dy - \frac{2}{vv'} \int_v dx \int_{v'} K(x - y)dy \quad (2.21)$$

Ao substituirmos o termo $K(h)$ por $K(0) - \gamma(h)$, nós podemos ver que o termo $K(0)$ desaparece da expressão σ_E^2 , pois trata-se de uma constante e $K(0) = 0$; conforme é mostrado nas equações 2.22 e 2.23 a seguir:

$$\sigma_E^2 = \frac{1}{v^2} \int_v dx \int_v K(0) - \gamma(x - y) dy + \frac{1}{(v')^2} \int_{v'} dx \int_{v'} K(0) - \gamma(x - y)dy - \frac{2}{vv'} \int_v dx \int_{v'} K(0) - \gamma(x - y)dy \quad (2.22)$$

$$\sigma_E^2 = \frac{1}{v^2} \int_v dx \int_v -\gamma(x-y) dy + \frac{1}{(v')^2} \int_{v'} dx \int_{v'} -\gamma(x-y) dy - \frac{2}{vv'} \int_v dx \int_{v'} -\gamma(x-y) dy \quad (2.23)$$

Rearranjando os termos da equação 2.23 com base nos seus sinais algébricos, temos que finalmente a equação da variância de extensão é escrita assim:

$$\sigma_E^2 = \frac{2}{vv'} \int_v dx \int_{v'} \gamma(x-y) dy - \frac{1}{v^2} \int_v dx \int_v \gamma(x-y) dy - \frac{1}{(v')^2} \int_{v'} dx \int_{v'} \gamma(x-y) dy \quad (2.24)$$

A equação 2.24 expressa o conceito de variância de extensão com base nos termos geoestatísticos visto até agora. Na equação 2.24 temos a variância de extensão calculada em termos da função variograma. Vamos no próximo item ver a aplicação prática do conceito de variância de extensão na geoestatística.

2.10.2 Aplicação Prática do Conceito de Variância de Extensão

Na presente tese, conforme foi explicado no item 2.9, o suporte que usaremos será o suporte temporal (1D). Portanto, neste item nos ateremos a explicar o conceito de variância de extensão onde o suporte aplicado é o intervalo de tempo Δt comparado com o suporte maior T.

Segundo os autores COSTA & SOUZA (2018, p. 6), a variância de extensão é referente ao erro de precisão que cometemos ao coletarmos amostras em intervalos de tempo maiores, este erro é calculado comparando-se à variabilidade das amostras quando são coletadas no menor intervalo de tempo possível. Quando as amostras são coletadas no menor intervalo de tempo possível, temos a variância de dispersão dos dados.

Os autores MARQUES & COSTA (2014b, p. 11) ainda explicam que a variância de extensão se refere ao ato de estender o valor da amostra a um suporte maior ou zona de influência. A equação utilizada no cálculo da variância de extensão é escrita desta forma COSTA & SOUZA (2018, p. 10):

$$\sigma_{ext}^2 \left(\frac{-}{T} \right) = 2\bar{\gamma} \left(\frac{-}{t} \right) - \bar{\gamma} \left(\frac{-}{T} \right) \quad (2.25)$$

Os termos desta equação são definidos pelos autores supracitados desta forma:

σ_{ext}^2 = variância de extensão

$\bar{\gamma}\left(\frac{-}{t}\right)$ = é a variância de dispersão média com respeito ao intervalo de tempo menor “t”

$\bar{\gamma}\left(\frac{-}{T}\right)$ = é a variância média de dispersão com respeito ao intervalo de tempo maior “T”

É comum na literatura se referir ao termo $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{t}\right)$ que corresponde à variância de dispersão média com respeito ao intervalo de tempo menor “t”, como sendo o variograma médio no intervalo de tempo menor “t”. O termo $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{T}\right)$ que corresponde à variância média de dispersão com respeito ao intervalo de tempo maior “T”, pode ser chamado como o variograma médio no intervalo de tempo menor “T”. Isto pode ser visto nos trabalhos de COSTA & SOUZA (2018, p. 10) e de SARMA (2009, p. 121-123).

O variograma médio $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{t}\right)$ para cada parâmetro de qualidade da água será determinado pelo programa gammabar do software GSLib, conforme instruções contidas nos trabalhos dos autores PERONI (2002), COSTA e SOUZA (2018) e BASSANI (2018).

O ponto de partida deste será o cálculo dos variogramas médios calculados para as amostras coletadas no tempo “t”, na figura 2.15 nos referimos a este variograma com o termo $\bar{\gamma}\left(\frac{t}{t}\right)$ e na equação 2.25 chamamos este variograma de $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{t}\right)$.

Após este passo, determina-se o variograma nas amostras coletadas no tempo maior “T” na figura o desenho corresponde ao termo $\bar{\gamma}\left(\frac{T}{T}\right)$ e na equação 2.25 corresponde ao termo $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{T}\right)$. Na figura 2.15, o termo $\bar{\gamma}\left(\frac{t}{T}\right)$ corresponde ao cálculo de se estimar amostras coletadas no tempo “t” dentro do espaço amostral maior “T”.

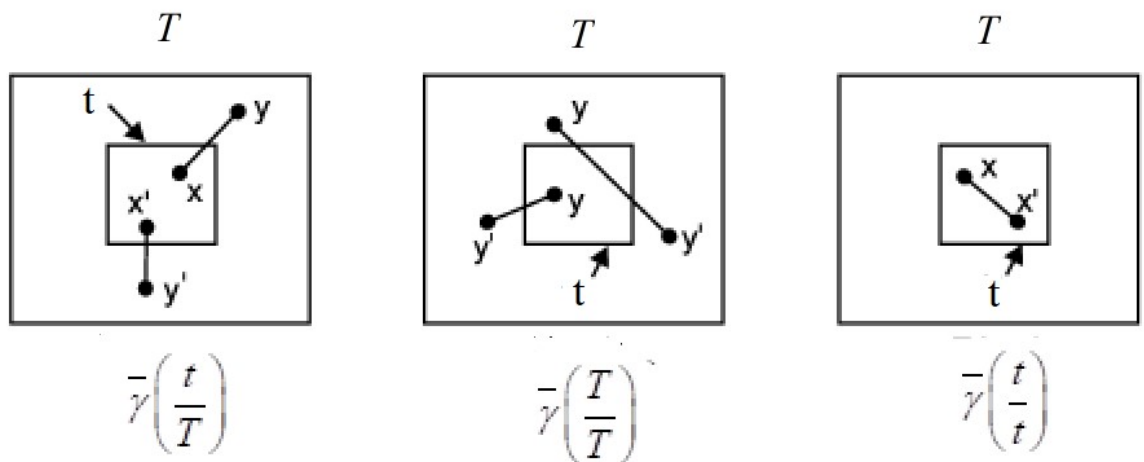


Figura 2.15: Conceitos pertencentes à variância de extensão. Adaptado de SARMA (2009, p. 122).

No caso do presente trabalho em que será feita a amostragem dos diversos parâmetros de qualidade da água subterrâneas, deseja-se determinar o erro de precisão para o intervalo de coleta de amostras iguais a: 1 dia, 2 dias, 4 dias, 8 dias, 16 dias, 32 dias, 64 dias, 128 dias, 256 dias, 512 dias, 1024 dias e 2048 dias.

Então o menor de intervalo de tempo será igual a “t” e o intervalo maior de tempo será igual a “T” que corresponde ao dobro do intervalo anterior.

2.11 O Fator de Variação de Pearson ou Desvio Padrão Relativo

Segundo PITARD (1993, p. 32) nos processos de amostragem costuma-se trabalhar com o desvio padrão relativo. Este autor defende a ideia de que é muito mais fácil de se trabalhar com o desvio padrão relativo do que se trabalhar com a variância da população. Segundo o mesmo autor, o desvio padrão relativo é obtido por meio da seguinte fórmula:

$$s_R^2 = \frac{s^2}{(\bar{x})^2} \quad (2.26)$$

Onde:

s_R^2 = erro relativo do desvio padrão

$(\bar{x})^2$ = média da população elevado ao quadrado

s^2 = variância da população

PITARD (2003, p. 32) explica que este desvio relativo do erro padrão é um número adimensional e que também é conhecido pelo nome de Fator de Variação de Pearson.

Para cada parâmetro de qualidade da água, o desvio padrão relativo deverá ser calculado assim:

$$s_R^2 = \frac{\sigma_{ext}^2}{(\bar{x})^2} \quad (2.27)$$

Onde:

s_R^2 = erro relativo do desvio padrão

$(\bar{x})^2$ = média da população elevado ao quadrado

σ_{ext}^2 = variância de extensão obtida

Para os parâmetros de qualidade da água, o termo $(\bar{x})^2$ corresponderá a média quadrática dos dados dos parâmetros obtidos nos resultados das análises. O termo σ_{ext}^2 corresponde à variância de extensão que foi calculada conforme explicação do item anterior.

2.12 O modelo Gaussiano: a distribuição normal de probabilidade

Para os dados dos resultados das análises assume-se que eles seguirão o modelo Gaussiano que é o modelo mais comumente usado na estatística convencional conforme explicado pelo autor PITARD (1993, p. 33).

O autor PITARD (1993, p. 33) explica que no modelo gaussiano possui um conjunto de amostras de determinado parâmetro que é suficientemente grande. Quando se traça a curva de distribuição dos valores médios dos dados, esta curva deverá apresentar a forma de um sino, esta forma é bem característica de uma distribuição gaussiana. Esta propriedade da curva gaussiana é baseada na teoria do limite central.

O autor supracitado quis dizer que as variáveis randômicas seguem o modelo de distribuição de Gauss. Este modelo trata-se de uma distribuição de probabilidades, que mostra a probabilidade de uma variável assumir tais valores numéricos. Esta probabilidade de assumir determinados valores é descrita pela função densidade de probabilidade, que segundo os autores MONTGOMERY & RUNGER (2003, p. 110) e DEVORE (2006, p. 141) é escrita assim:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.28)$$

Onde:

x = variável randômica a ser medida

μ = média dos dados da população

σ = desvio padrão dos dados da população

σ^2 = variância dos dados da população

A curva de da função de densidade de probabilidade da distribuição normal do modelo de Gauss é mostrada na figura 2.16 a seguir:

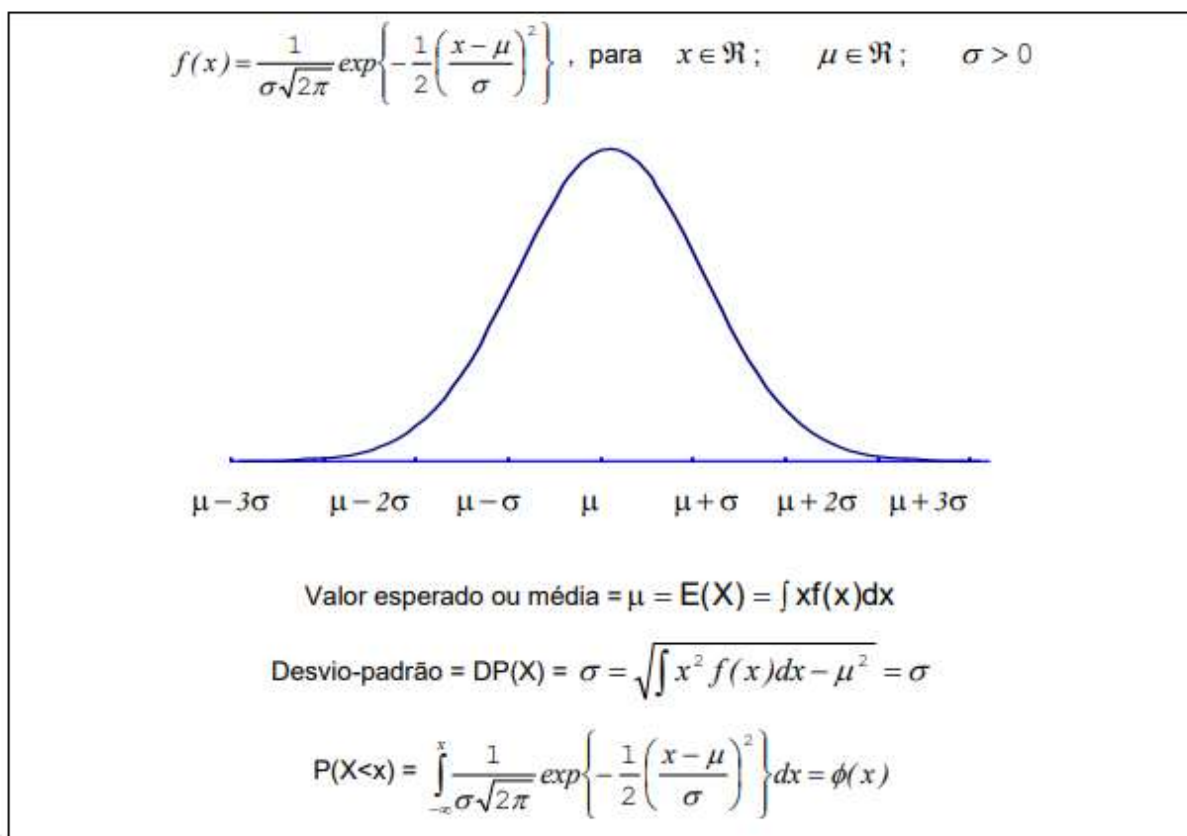


Figura 2.16: Quadro sobre as características da distribuição Normal. Fonte: BITTENCOURT & VIALI (2006, p. 7)

Segundo PITARD (1993, p. 33) para investigarmos a normalidade deve-se comparar as características do desvio padrão σ com as aquelas características do modelo ideal de Gauss onde se tem escalas de probabilidade conforme o desvio padrão σ . Estas escalas de probabilidade são descritas pelos autores PITARD (1993, p. 33) e BITTENCOURT & VIALI (2006, p. 7) e mostradas a seguir:

$$P(\mu - \sigma \leq x \leq \mu + \sigma) \cong 68,26\%$$

$$P(\mu - 2\sigma \leq x \leq \mu + 2\sigma) \cong 95,45\% \quad (2.28)$$

$$P(\mu - 3\sigma \leq x \leq \mu + 3\sigma) \cong 99,73\%$$

Na figura 2.17 encontra-se o gráfico da curva de distribuição normal. Nesta curva são mostrados os dois pontos de inflexão da curva. A área sobre o gráfico desta curva é 1 ou 100% por

se tratar de uma curva de probabilidade. Na figura também são mostrados os pontos cujas probabilidades foram mostradas na equação 2.28.

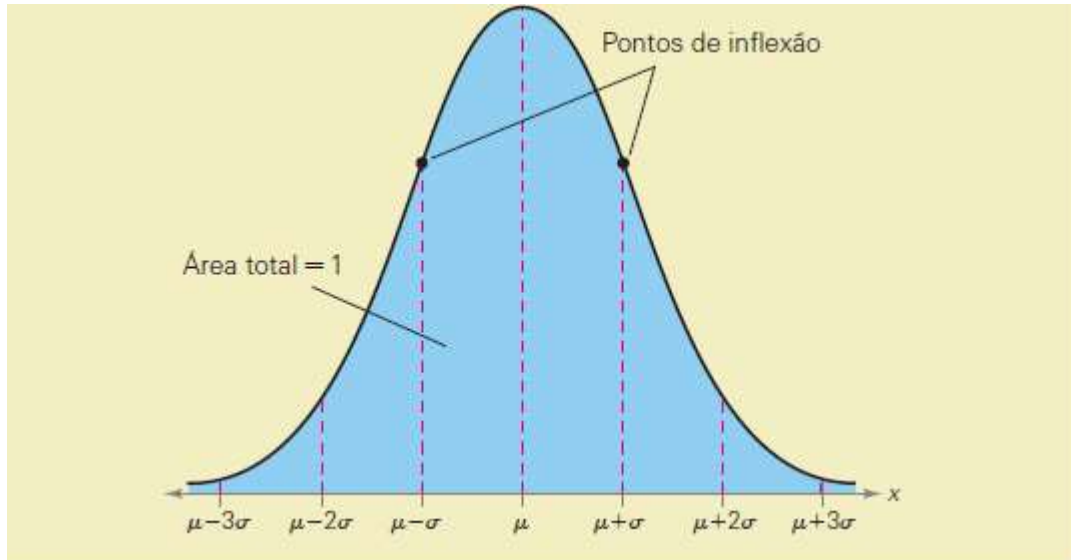


Figura 2.17: Gráfico da curva normal com algumas características. Fonte: FARBER & LARSON (2015, p. 219).

2.13 Erros relativos de amostragem

Convém dizer que o erro relativo do desvio padrão calculado no item 2.11 corresponderá a um intervalo de confiança de 64%. Seguindo a curva de probabilidade mostrada nas figuras 2.16 e 2.17. Após a determinação deste erro, será calculado o erro de amostragem para o nível de confiança de 99,9%. Este erro corresponderá a três vezes o desvio padrão, conforme mostrado nas figuras 2.16 e 2.17.

Resumindo isto matematicamente temos que o erro para o intervalo de confiança de 64% PITARD (1993, p. 32):

$$s_R^2 = \frac{\sigma_{ext}^2}{(\bar{x})^2} \quad (2.29)$$

Onde:

s_R^2 = erro relativo do desvio padrão

$(\bar{x})^2$ = média da população elevado ao quadrado

σ_{ext}^2 = variância de extensão obtida

Para o intervalo de confiança de 99,9%, o erro relativo de amostragem será:

$$ER = 3s_R^2 \quad (2.30)$$

Onde:

s_R^2 = erro relativo do desvio padrão

ER = erro relativo a um nível de confiança de 99,9%

Convém elucidar que o erro relativo se refere ao valor médio dos dados amostrais. Obtém-se o valor médio das amostras coletadas ou do lote amostrado, e depois calcula-se o erro relativo em relação ao valor médio do lote ou do conjunto de dados amostrados, conforme é possível verificar na equação 2.29.

2.14 Suficiência amostral

Conforme explicado no item anterior, assume-se que os dados dos parâmetros de qualidade da água a serem obtidos por meio das análises, deverão seguir uma distribuição normal de probabilidades, com base nesta premissa fica mais fácil estipular um número mínimo de amostras a ser coletada para cada parâmetro.

Segundo os autores MONTGOMERY (2003, p. 252) e LARSON & FARBER (2015, p. 284), assumindo-se que os dados seguem uma distribuição normal de probabilidades, pode-se afirmar que o número mínimo de amostras será determinado por meio desta fórmula:

$$n = \left(\frac{z_{\alpha/2} \sigma}{E} \right)^2 \quad (2.31)$$

Onde:

$z_{\alpha/2}$ = o valor crítico conforme o nível de confiança (tabelado em Montgomery & Runger, 2003)

σ = o desvio padrão

E = a esperança matemática

n = é o número mínimo de amostras.

Para atender ao critério de suficiência amostral, deve-se colher o número mínimo de amostras igual ou maior a n. Coletar-se-ão as amostras dos parâmetros de qualidade e serão feitos os cálculos dos números mínimos de amostras para cada parâmetro. Para os parâmetros em que os números mínimos de amostras não foram atingidos, serão feitas coletadas novas amostras para análises.

2.15 Matriz de Correlação

Segundo DEVORE (2006, p. 468), o objetivo de se determinar o coeficiente de correlação entre duas variáveis, é o de verificar se como duas variáveis se relacionam, ou seja, quando a variável x aumenta, o que acontece com a variável y, ela aumenta ou diminui?

O autor ainda enfatiza que a intenção do cálculo do coeficiente de correlação é de ver o grau de relacionamento entre duas variáveis, e não a intenção de prever uma variável em função da outra.

Serão calculados o coeficiente de correlação para os parâmetros de qualidade da água conforme os resultados obtidos nas análises. Segundo os autores DEVORE (2006, p. 469), MARTINS (2014, p. 1) e MONTGOMERY (2003, p. 252) coeficiente de correlação de Pearson é determinado pela seguinte equação:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.32)$$

Onde:

x_i = primeira variável

\bar{x} = média da primeira variável

y_i = segunda variável

\bar{y} = média da segunda variável

r = coeficiente de correlação de Pearson.

As médias \bar{x} e \bar{y} são obtidas conforme mostram as seguintes equações:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.33)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (2.34)$$

O autor MARTINS (2014, p. 1) explica que conforme o valor obtido para o coeficiente r pode-se classificar a correlação entre duas variáveis conforme a tabela 2.4 a seguir:

	Forte	Moderada	Fraca
Positiva	$0,71 \ll r \ll 0,99$	$0,47 < r \ll 0,71$	$0 \ll r \ll 0,47$
Negativa	$-0,99 \ll r \ll -0,71$	$-0,71 < r < -0,47$	$-0,47 \ll r \ll 0$

Tabela 2.4 – Tipos de correlação. Fonte: Adaptado de MARTINS (2014, p. 2)

Para cada fonte, foi calculada uma matriz quadrada, de dimensão $n \times n$, chamada de matriz de correlação conforme a matriz M mostrada a seguir:

$$M = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \\ a_{nj} & & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (2.35)$$

Na diagonal principal da matriz, calcula-se a correlação entre o parâmetro i com ele mesmo, portanto o valor do elemento a_{ij} será igual a 1, pois a correlação de um parâmetro com ele mesmo será igual a 1. Nas outras posições calculamos, a correlação entre o parâmetro i com os outros parâmetros, por exemplo, para o elemento a_{12} , calcula-se a correlação entre os parâmetros 1 e 2, por meio da equação 2.32.

A correlação entre os parâmetros i e j , é igual à correlação entre os parâmetros j e i , portanto na matriz de correlação M , o valor do elemento a_{12} será igual ao valor de a_{21} . Ou seja, o valor do elemento a_{ij} de uma matriz de correlação é igual ao valor do elemento a_{ji} da matriz correlação. O valor do índice i que indica a linha da matriz M será igual a $i = 1, 2, 3, \dots, n$. O valor do índice j que indica a coluna da matriz M , será igual a $j = 1, 2, 3, \dots, n$.

O objetivo de se calcular a matriz correlação para os parâmetros de qualidade da água é poder separar quais pares de parâmetros possuem forte grau de correlação linear. Para os elementos que possuirão alto grau de correlação pretende-se analisar obter as equações de regressão linear entre os parâmetros. Com base nessas equações de regressão linear, pretende-se escolher qual a melhor equação que permita prever um parâmetro de qualidade com base no resultado da análise obtida para outro parâmetro.

Por exemplo, sabe-se que teores de cálcio e magnésio apresentam alto grau de correlação química. Pretende-se obter a equação que permite prever o teor de cálcio com base no teor de magnésio para cada fonte analisada. Com isso, minimizar-se-ia o número de amostras para as fontes de águas minerais escolhidas em campanhas futuras.

Por isso, tomou-se a decisão de obter a matriz correlação para os parâmetros de qualidade das fontes de águas minerais estudadas nesta tese.

Será feita a análise da viabilidade de se prever um parâmetro de qualidade com base em outro para os dados brutos de cada fonte e para os dados normalizados, caso seja necessário.

2.16 Conceito de Heterogeneidade da Teoria de Amostragem aplicado à Água Mineral

A água subterrânea não é um material homogêneo. Mesmo água advinda de outra origem que não seja subterrânea como água de lagos, rios, mar etc. não é um material homogêneo.

O autor GY (2004a, p. 10) explica que embora a água aparente ser um material homogêneo, ela não é. Segundo este autor, a água apresenta diversos constituintes a saber: H_2O , H^+ , OH^- e O_2 . Quando amostramos um lote de água mineral, assim como foi feito nesta tese, não é possível assumir que o lote é homogêneo. Se o lote fosse homogêneo teríamos que assumir que todos os parâmetros físico-químicos, químicos e microbiológicos das embalagens amostradas não apresentaram variação temporal no processo de amostragem.

Sabemos que os parâmetros de qualidade da água variam dentro do mesmo lote e ao longo do tempo, por isso assume-se que a água mineral é heterogênea. O autor GY (2004a, p. 10) alerta para o fato de que a constituição da matéria nunca é homogênea e que o processo de amostragem nunca é exato em função da heterogeneidade da matéria.

Na presente tese, seguiram-se os preceitos da Teoria de Amostragem que são descritos em detalhe pelo autor Pierre Gy e que pode ser visto nos seguintes trabalhos: GY (2004a); GY (2004b); GY (2004c); GY (2004d) e GY (2004e).

Assumiu-se que a água mineral é heterogênea com base no que foi explicado pelo autor GY (2004a) e que foi supracitado. Para um material tal qual a água mineral, tanto Gy (2004c) como PITARD (1993, p. 363) usam o conceito de amostragem de lotes de uma dimensão (ou unidimensionais).

Neste tipo de amostragem de lote unidimensional costumamos usar variogramas. Segundo PITARD (1993, p. 363), os variogramas são usados para otimizar os intervalos entre incrementos, ou entre as amostras, e para descobrirmos qual é o método de seleção de amostragem mais apropriado.

Conforme explica o trabalho de GY (2004c, p. 40-41) quando usamos a amostragem de um lote unidimensional, estamos medindo a variação do teor da amostra ao longo do tempo, e essa variação corresponde a heterogeneidade do material.

Por exemplo, no caso da presente tese, faremos a medição do teor do fluoreto de diversas fontes de água mineral ao longo de dias diferentes. Consideraremos, os lotes dos produtos envasados como sendo lotes unidimensionais e depois analisaremos estes lotes por meio de variogramas temporais unidimensionais.

Neste caso, a heterogeneidade dos parâmetros de qualidade da água será analisada com relação ao tempo e não com relação ao espaço.

A teoria de Gy que pode ser vista nos trabalhos GY (2004a) e GY (2004c) nos recomenda a utilização da amostragem de lotes unidimensionais para materiais heterogêneos como a água mineral e essa amostragem faz uso de variogramas temporais. É interessante comparar esta estratégia de amostragem com a estratégia do autor WACKERNAGEL (1998, p. 64-65).

O autor WACKERNAGEL (1998, p. 64-65) nos explica que na indústria de higiene, costuma-se usar o suporte unidimensional (1D), lembre-se de que no item 2.9 vimos que no uso do suporte unidimensional, as medições médias são feitas em intervalos de tempo curtos Δt ; com isso devemos estimar o excesso sobre um valor limite definido para uma jornada de trabalho T, estas medições também são analisadas por meio de variogramas 1D (ou omnidirecionais, ou em uma única dimensão).

Quanto a amostragem da água mineral por variogramas e o tratamento do problema como sendo unidimensional vemos que as opiniões dos autores WACKERNAGEL (1998), GY (2004a), GY (2004c) e PITARD (1993) reiteram o fato de que para substâncias como a água mineral deve ser feita a amostragem levando-se em conta de que se trata de um problema unidimensional e que a variabilidade dos parâmetros de qualidade da água mineral deve ser analisada no tempo por meio de variogramas temporais que permitirão entender a variabilidade temporal destes parâmetros.

Além disso, GY (2004c, p. 39) nos ensina que é possível por meio de variogramas experimentais estimar os erros de amostragem envolvidos em uma determinada estratégia de amostragem. Nesta tese, veremos que isso realmente é possível de se fazer ao aplicarmos o conceito de variancia de extensão para obtermos o melhor intervalo de amostragem para cada parâmetro de qualidade das fontes amostradas.

2.17 Erros de Amostragem segundo Teoria de Amostragem aplicados à Água Mineral

2.17.1 Conceito de Erro Fundamental

Presume-se que o processo de amostragem de qualquer mineral gera muitos erros que são inerentes ao processo de amostragem e impossíveis de serem eliminados, porém podemos minimizar os erros de amostragem.

O autor Pierre Gy dedicou vários trabalhos nos quais ele dissertava sobre o processo de amostragem de diversos minerais e quais eram os tipos de erros decorrentes no processo global de

amostragem. Os detalhes sobre o processo de amostragem mineral e os seus erros podem ser vistos nos seguintes trabalhos: GY (2004a), GY (2004b), GY (2004c), GY (2004d) e GY (2004e).

Ao presente trabalho somente interessa as simplificações que podem ser feitas na determinação dos erros ocorrentes no processo de amostragem.

O primeiro erro de amostragem que é evidenciado no trabalho de Gy (2004d) é o erro fundamental de amostragem representado pela sigla **FSE (Fundamental Sampling Error)**. Segundo PITARD (1993, p.13) nos explica que o erro fundamental resulta da heterogeneidade da constituição (Constitution Heterogeneity – CH).

Vimos no item anterior que a água mineral é um material heterogêneo e, portanto, podemos presumir que ela possui a heterogeneidade de constituição e conseqüentemente, o processo de amostragem de água mineral gera o FSE (erro fundamental de amostragem).

Na presente tese, trabalhar-se-á com vários lotes de águas minerais de diversas fontes e, portanto, faz-se necessário uso da Teoria de Pierre Gy para determinação da Heterogeneidade no lote de água mineral.

Para se fazer o teste Heterogeneidade para a água mineral será necessário calcular os seguintes parâmetros:

- a heterogeneidade carregada por um fragmento dentro de um lote – conhecida pelo termo h_i .
- a média das heterogeneidades carregadas pelos fragmentos de um lote;
- a variância das heterogeneidades carregadas pelos fragmentos de um lote;
- a heterogeneidade de constituição de um lote – conhecida pelo termo CH_L ;
- o fator constante da heterogeneidade de constituição dos fragmentos de um lote – IHL ;
- a variância do erro fundamental - $\sigma^2(FE)$

Segundo PITARD (1993, p. 65), a heterogeneidade h_i corresponde refere-se à heterogeneidade entre os fragmentos sólidos pois não interessa a heterogeneidade dentro dos fragmentos sólidos. No caso da água mineral podemos relacionar que é heterogeneidade que compõem as partículas de pequeno tamanho que costumamos chamar de elementos traços e que correspondem aos teores dos elementos químicos que costumam ser mostrados nos rótulos como o cloreto, o fluoreto, o sódio etc. A heterogeneidade h_i é calculada pela fórmula a seguir:

$$h_i = N_F \frac{(a_i - a_F) M_i}{a_L M_L} \quad (2.36)$$

Na equação 2.36 acima temos a seguinte descrição dos termos:

h_i = heterogeneidade

a_i = teor do componente no incremento

a_L = teor médio do componente no lote L

N_F = número de fragmentos no lote L

M_i = massa do incremento (no caso da água mineral, considera-se como sendo a massa da embalagem)

M_L = massa do lote L

Após a determinação da heterogeneidade h_i , calcula-se a média de h_i e a variância de h_i por meio das duas equações 2.37 e 2.38 mostradas abaixo:

$$m(h_i) = \sum_i \frac{h_i}{N_F} \quad (2.37)$$

$$s^2(h_i) = \frac{1}{N_F} \sum_i h_i^2 = N_F \sum_i \frac{(a_i - a_L)^2}{a_L^2} \frac{M_i^2}{M_L^2} \quad (2.38)$$

A variância da heterogeneidade h_i , representada por $s^2(h_i)$ nos dará a ideia de quão heterogêneo é o lote de água mineral da fonte em questão com relação ao parâmetro de qualidade da água analisado.

PITARD (1993, p. 67) explica que a variância das heterogeneidades h_i corresponde ao conceito de variância relativa. A variância de qualquer variável é igual à sua variância absoluta dividida pela média ao quadrado. A média em questão é o teor médio do lote a_L que está elevado ao quadrado na fórmula da equação 2.38.

Após a determinação da variância obtém-se a heterogeneidade de constituição do lote por meio da fórmula mostrada na equação 2.39:

$$CH_L = s^2(h_i) = \frac{1}{N_F} \sum_i h_i^2 = N_F \sum_i \frac{(a_i - a_L)^2}{a_L^2} \frac{M_i^2}{M_L^2} \quad (2.39)$$

Em seguida, após a determinação da heterogeneidade de constituição CH_L calcula-se o fator constante da heterogeneidade de constituição dos fragmentos de um lote – IH_L , por meio da equação a seguir:

$$IH_L = \frac{CH_L M_L}{N_F} = CH_L M_i = \sum_i \frac{(a_i - a_L)^2 M_i^2}{a_L^2 M_L^2} \quad (2.40)$$

Finalmente, calcula-se a variância do erro fundamental de amostragem por meio da equação 2.41:

$$\sigma^2(FE) = \frac{IH_L}{M_L} \quad (2.41)$$

Por meio dos parâmetros CH_L , IH_L e $\sigma^2(FE)$ e por meio da análise do efeito pepita e do sill serão calculadas relações de proporção entre os CH_L , IH_L e $\sigma^2(FE)$ e os parâmetros dos variogramas temporais.

Com base na relação entre os termos acima chegar-se-á na contribuição dos erros de amostragem para determinados intervalos de amostragem para que finalmente se escolha o melhor intervalo de coleta a ser aplicado para as fontes de águas minerais.

Convém explicar que em relação ao teste de heterogeneidade será tomada a decisão de como deve ser realizado o teste de heterogeneidade para as fontes de águas minerais. Decidir-se-á de o teste será realizado apenas para as fontes que contém amostras com volumes iguais, ou se será realizado o teste com fontes com amostras volumes diferentes, onde ocorrerá a mudança de suporte descrita no item 2.9. Ou como última opção decidir-se-á a necessidade de para uma mesma fonte, realizar vários testes de heterogeneidade, agrupando as amostras com volume iguais, ou melhor dizendo, o mesmo suporte.

2.18 Diagrama de Piper

Neste trabalho será preciso usar o Diagrama de Piper para poder classificar as águas minerais e entender a correlação entre os parâmetros químicos de qualidade das águas subterrâneas. O diagrama de Piper é composto por dois triângulos e um losango no meio dos dois triângulos. Para o uso desse diagrama considera-se que a água mineral é composta por um grupo pequeno de cátions e ânions que podem ser considerados os seus constituintes principais em massa.

Os cátions do Diagrama de Piper são: Ca^{+2} (cálcio); Mg^{+2} (magnésio); K^+ (potássio). Os ânions do diagrama são: SO_4^- (sulfato); Cl^- (cloreto) e HCO_3^- (bicarbonato). Veja o diagrama de Piper na figura 2.18.

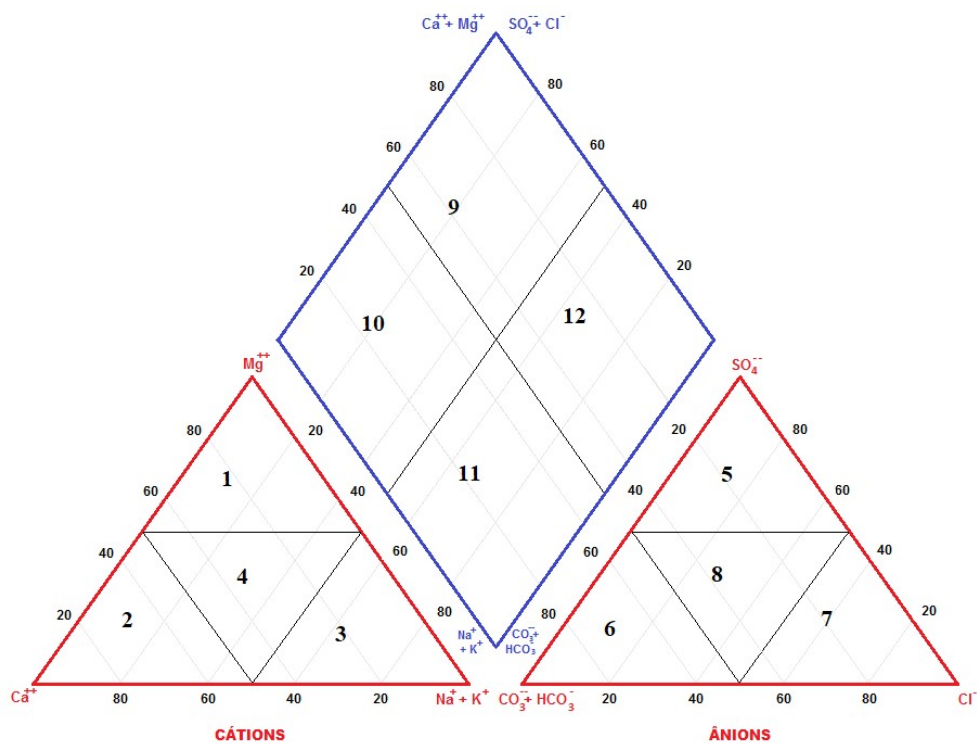
Os autores DAMASCENO et. al. (2021) nos explicam que da esquerda para direita o primeiro triângulo é usado para anotação da porcentagem em massa dos cátions, e o segundo triângulo é usado para se anotar a porcentagem em massa dos ânions. Estes autores consideram que o losango do diagrama Piper como sendo o losango de classificação principal.

Para se obter o diagrama de Piper deve-se dispor dos dados sobre os cátions e ânions mencionados anteriormente. É possível encontrar esses dados nos rótulos das embalagens de águas minerais. Calculam-se as porcentagens dos ânions e cátions, e marcam-se essas porcentagens no diagrama de Piper.

Analisando a figura 2.18, é possível a classificação das águas conforme o íon predominante. Para água ser classificada como sódica, a porcentagem em massa de sódio, deve ser maior que as porcentagens em massa de magnésio e potássio. Para água ser classificada como cálcica, a porcentagem em massa de cálcio deverá ser maior que as porcentagens em massa do sódio e do magnésio. Finalmente, para a água ser classificada como magnésiana, a porcentagem em massa de magnésio deverá superar ser maior que as porcentagens de cálcio e de potássio.

O raciocínio análogo ao que foi feito para os cátions é feito para os ânions: a água bicarbonatada tem o íon bicarbonato com maior porcentagem em massa do que os ânions cloreto e sulfato. A água sulfatada tem maior porcentagem em massa de sulfato do que as porcentagens de bicarbonato e cloreto. E a água cloretada tem maior porcentagem em massa de cloreto do que a porcentagem de bicarbonato e sulfato.

Serão construídos os diagramas de Piper para as fontes analisadas com base nas análises do LAMIN que se encontram nos rótulos embalagens coletadas. É importante o uso do Diagrama de Piper nesta tese, porque a água subterrânea tem uma composição peculiar quando comparada com outros minérios. Quando se trabalha com outros minérios, trabalha-se com a porcentagem dos óxidos em massa. Com a água mineral trabalha-se com os íons que estão dissolvidos, e é a porcentagem em massa de um grupo pequeno de íons que pode ser considerada como componente principal da água subterrânea. Por meio do uso do Diagrama de Piper será possível entender também como se dá a correlação entre os íons da água mineral.



Legenda

- | | |
|--------------------------|--|
| 1 – Águas Magnesianas | 7 – Águas Cloretadas |
| 2 – Águas Cálcicas | 8 – Águas Mistas |
| 3 – Águas Sódicas | 9 – Águas Sulfatadas ou Cloretadas Cálcicas ou Magnesianas |
| 4 – Águas Mistas | 10 – Águas Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnesianas |
| 5 – Águas Sulfetadas | 11 – Águas Bicarbonatadas Sódicas |
| 6 – Águas Bicarbonatadas | 12 – Águas Sulfatadas ou Cloretadas Sódicas |

Figura 2.18: Diagrama de Piper. Fonte: Modificado de REGINATO et al. (2010).

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

3.1 Alíquotas mínimas

Para se realizarem as análises microbiológicas é necessário levar amostras cujo volume seja superior a 100 ml, pois são necessários 100 ml para se realizarem os procedimentos das análises microbiológicas. O resultado obtido para as análises microbiológicas é expresso em UFC/100 ml, ou seja, unidades formadoras de colônia por 100 ml.

Por exemplo, no caso de se levar um copo de 200 ml para análise microbiológica, usa-se 100 ml para realizar a análise, e o volume restante é guardado para se fazer a análise de contraprova dos parâmetros no caso dos mesmos terem apresentado alguma disparidade nos resultados.

Para as análises físico-químicas e químicas é necessária uma alíquota de 10 ml para cada parâmetro que se deseja analisar. Por exemplo, se desejarmos analisar 20 parâmetros, será necessário enviar uma amostra com um volume mínimo de 200 ml. Recomenda-se enviar uma amostra neste caso com um volume de 300 ml ou mais, para que se tenha um volume de reserva que nos permita fazer a análise de contraprova caso também haja disparidade nos resultados obtidos.

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e químicos são obtidos para 10 ml, mas são expressos por litros nos laudos das análises realizadas pelos laboratórios.

Recomenda-se que por precaução sejam levados para análise de parâmetros microbiológicos embalagens com volume superior a 500 ml e no caso de se desejar realizar análises químicas e físico-químicas recomenda-se que se leve para análise um volume igual ou superior a 1 litro.

3.2 Metodologia de coleta

O trabalho de coleta e análise das fontes de águas minerais foi finalizado. Foram realizadas análises dos parâmetros químicos, físico-químicos e microbiológicos de 16 poços no total. Os nomes das fontes analisadas foram: Fonte Sonja, Fonte Santo Antonio, Fonte Santa Lúcia, Fonte Juliana, Fonte Verônica, Fonte Primavera, Fonte Ycuara, Fonte Água Santa, Fonte Alvorada, Fonte Japi, Fonte Maestro, Fonte Paineira, Fonte Água Leve, Fonte Água Leve I, Fonte Água Leve II e Fonte Água Leve III. Na tabela 3.1 constam informações sobre o tipo de captação, o aquífero a qual pertence cada captação, o número de amostras e o tipo de embalagens coletadas, e o estado e cidade onde cada captação se encontra. A tabela 3.1 também menciona se houve ou não a coleta de duplicatas no processo de amostragem.

Diferentemente da amostragem de materiais minerais sólidos, a coleta de amostras de águas minerais não emprega quarteamento. Foram adquiridas as embalagens de água e do mesmo jeito em que se encontravam, elas foram levadas ao laboratório.

Os resultados destas análises encontram-se no item A da seção Anexos deste trabalho. Além dos resultados para os parâmetros de qualidade, as tabelas apresentam os dados de identificação do lote da empresa, a data de envase, o horário de envase, o nome da fonte, a identificação da amostra no laboratório e o tipo de embalagem amostrada.

Nome da Fonte	Tipo de captação	Aquífero	Cidade	Estado	Embalagens coletadas	Há coletas de duplicatas		Nº de amostras	Estações climáticas
						Sim	Não		
Santo Antonio	poço	Pré-Cambriano (CETESB, 2011)	São Paulo	SP	Copos de 300 ml e galões de 20 L.	X		20 para os outros elementos e 28 para o fluoreto.	Primavera, verão, outono e inverno.
Sonja	poço				Squeezes de 500 ml, galões de 5 L, 10 L e 20 L.	X		20 para os outros elementos e 28 para o fluoreto.	Primavera, verão, outono e inverno.
Santa Lúcia	poço				Garrafas de 500 ml e 1,5 L.		X	5	Primavera e verão.
Primavera	poço				Garrafas de 510 ml e 1,5 L.		X	15	Primavera, verão, outono e inverno.

Verônica	poço	Tubarão (CETESB, 2019)	Serra Negra	SP	Garrafas de 510 ml.	X		20 para os outros elementos e 40 para o fluoreto	Outono e inverno.
Juliana	poço					Garrafas de 510 ml.	X		4
Água Santa	poço		Campos de Jordão	SP	Garrafas de 510 ml e 1,5 L.		X	15	Primavera, verão, outono e inverno.
Ycuara	poço	São Paulo (CETESB, 2019)	Mogi das Cruzes	SP	Garrafas de 500 ml e 1,5 L.		X	15	Primavera, verão, outono e inverno.
Alvorada	poço	Tubarão (CETESB, 2019)	Jundiaí	SP	Galões de 4,5 L e 7 L.	X		12	Primavera, verão, outono e inverno.
Japi	poço				Garrafas de 330 ml, 500 ml; 1,5 L; galões de 4,5 L e 7 L.	X		15	Primavera, verão, outono e inverno.

Maestro	poço	São Paulo (2019)	Itapecerica da Serra	SP	Galões de 10 L e 20 L	X		11	Primavera
Paineira	poço	Bacia Hidrográfica do Rio Grande na	Jacutinga	MG	Garrafas de 330 ml		X	13	Primavera, verão, outono e inverno.
Água Leve	nascente	Unidade de Planejamento de Gestão de Recurso			Garrafas de 500 ml e 1,5 L		X	13	Primavera, verão, outono e inverno.
Água Leve I	nascente	Hídrico (UPGRH) denominada GD 06 em			Garrafas de 300 ml; 350 ml; 500 ml; 650 ml e 1,5 L.		X	15	Primavera, verão, outono e inverno.
Água Leve II	nascente	Minas Gerais segundo Atlas da Universidade			Garrafas de 500 ml; 1,5 L e 2,25 L.	X		13	Primavera, verão, outono e inverno.
Água Leve III	Nascente	Federal de Viçosa (2018) e Comitê de			Garrafas de 500 ml; 1,5 L e 2,25 L.		X	13	Primavera, verão, outono e inverno.

		Bacia Hidrográfica do Rio Grande – CBH Grande (2018).							
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabela 3.1 – Características das fontes analisadas

3.3 Variância de extensão para as captações

Para as fontes cujos parâmetros analisados foram químicos e físico-químicos calcularam-se as matrizes de correlação conforme descrito no item 2.15.

Com base nos resultados das análises realizadas foi possível definir que a variância e o erro relativo seriam calculados para os poços descritos na tabela 3.2 a seguir:

Nome do poço	Parâmetros analisados por variografia
Fonte Sonja	Alcalinidade total, cálcio, cloreto, condutividade elétrica, fluoreto, lítio, magnésio, pH, sódio.
Fonte Santo Antonio	Alcalinidade total, cálcio, cloreto, condutividade elétrica, fluoreto, magnésio, pH, sódio.
Fonte Santa Lúcia	Alcalinidade total, cálcio, cloreto, condutividade elétrica, fluoreto, magnésio, pH, sódio.
Fonte Juliana	Alcalinidade bicarbonato, alcalinidade carbonato, cálcio, cloreto, condutividade elétrica, fluoreto, magnésio, pH, sódio.
Fonte Verônica	Alcalinidade bicarbonato, alcalinidade carbonato, cálcio, cloreto, condutividade elétrica, fluoreto, magnésio, pH, sódio.
Fonte Primavera	Alcalinidade total, cálcio, cloreto, condutividade elétrica, fluoreto, magnésio, pH, sódio.
Fonte Ycuara	Alcalinidade total, cálcio, cloreto, condutividade elétrica, fluoreto, magnésio, pH, sódio.

Fonte Água Santa	Alcalinidade total, cálcio, cloreto, condutividade elétrica, fluoreto, magnésio, pH, sódio.
Fonte Maestro	Bactérias Heterotróficas

Tabela 3.2 – Parâmetros a serem analisados por variografia conforme o poço amostrado.

Os variogramas dos parâmetros acima listados foram obtidos através do software de geoestatística SGMes (2019). Este software pode ser baixado na internet e o seu manual pode ser lido tanto no site do software como nas explicações mais detalhadas dos autores REMY et al (2009).

Após o cálculo dos variogramas obteve-se o variograma médio $\bar{\gamma}$ por meio do algoritmo GAMMABAR do software GSLib (2018). Este procedimento foi conforme explicam os trabalhos dos autores PERONI (2002), COSTA e SOUZA (2018) e BASSANI (2018).

Após o cálculo dos variogramas médios foi feito o cálculo da variância de extensão e dos erros relativos de amostragem para dois intervalos de confiança conforme explicado nos itens 2.10 a 2.12 deste trabalho.

Por meio do cálculo da variância de extensão deseja-se comparar o valor mínimo de cada intervalo de coleta com o limite químico (LQ) de cada parâmetro para cada fonte estudada. O valor máximo obtido em cada intervalo de coleta será comparado como o valor máximo permitido (VMP) para cada parâmetro. O importante desta comparação é que por meio do cálculo da variância de extensão e do erro relativo de amostragem obtido pode-se aferir se a água analisada atende aos limites estabelecidos na legislação vigente no Brasil e também se atenderia aos padrões vigentes nas legislações internacionais.

Serão checados qual é o melhor intervalo de coleta para cada parâmetro de cada fonte. Os erros de amostragem cometidos pelos laboratórios também deverão ser levados em consideração para a determinação dos melhores intervalos de coleta para as fontes.

Serão feitas comparações entre os intervalos de coletas para as fontes estudadas e serão discutidos quais seriam os erros de amostragem aceitáveis para cada fonte com base no intervalo máximo de coleta a ser aplicado.

Devido ao fato de terem sido amostrados diversos tipos de embalagens para as fontes listadas na tabela 3.2, pretende-se agrupar os dados por tipo de embalagens e calcular novamente a variância de extensão, de forma a averiguar de que o conceito da massa da amostra influi nos erros

de amostragem, conforme explicam o trabalho dos autores ABZALOV (2011) e COSTA e SOUZA (2018).

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Sumário Estatístico das Fontes

Com base nos resultados obtidos das análises foi feito o sumário estatístico para as seguintes fontes: Santo Antonio, Sonja, Santa Lúcia, Juliana, Verônica, Primavera, Ycuara, Água Santa e Maestro.

Para estas fontes foi calculado o número mínimo de amostras conforme os cálculos mostrados no item 2.14. Nas tabelas 4.1 a 4.9 são mostrados dos resultados dos cálculos.

Tabela 4.1 Sumário estatístico para a Fonte Santo Antonio

Parâmetro	Média	Máximo	Quartil Superior	Mediana	Quartil Inferior	Mínimo	Desvio Padrão	CV (%)	n (IC = 90%)	n (IC = 95%)	n (IC = 99%)	As
Alcalinos (mg/L)	49,1	80	54	49	40	38	9,97	20,31	1	1	1	0,03
Ca (mg/L)	8,3	12	9,3	8,1	7,09	5,4	1,60	19,28	1	1	1	0,38
Cl (mg/L)	18,3	24,1	20	20	15,2	13,2	3,13	17,10	1	1	1	-1,63
CE ($\mu S/cm$)	179,6	189,6	185	181	178	145	10,28	5,72	1	1	1	-0,41
F (mg/L)	0,1	0,28	0,12	0,10	0,06	0,02	0,06	60	1	2	3	0,00
Mg (mg/L)	3,9	5,6	4,6	3,7	3,3	2,9	0,71	18,21	1	1	1	0,85
pH	6,7	8,1	6,8	6,3	6,3	6,3	0,52	7,76	1	1	1	2,31
Na (mg/L)	19,8	28	19,4	19,4	15	15	4,34	21,92	1	1	1	0,28

Tabela 4.2 Sumário estatístico para a Fonte Sonja

Parâmetro	Média	Máximo	Quartil Superior	Mediana	Quartil Inferior	Mínimo	Desvio Padrão	CV (%)	n (IC = 90%)	n (IC = 95%)	n (IC = 99%)	As
Alcalinos	49,1	61	53	49	46	24	8,42	17,15	1	1	1	0,04
Ca (mg/L)	16,4	22	19	16	12,3	10,3	4,16	25,37	1	1	1	0,29
Cl (mg/L)	4,4	5,5	4,6	4,3	4,1	3,1	0,53	12,05	1	1	1	0,57
CE ($\mu S/cm$)	144,3	171	167	140	125	98	22,4	15,52	1	1	1	0,58
F (mg/L)	0,12	0,32	0,17	0,10	0,09	0,01	0,07	58,33	1	2	3	0,86
Li (mg/L)	0,027	0,034	0,032	0,027	0,024	0,018	0,005	18,52	1	1	1	0,00
Mg (mg/L)	1,9	2,6	2,0	1,9	1,9	1,8	0,19	10	1	1	1	0,00
pH	7,4	7,8	7,5	7,4	7,4	7,1	0,13	1,76	1	1	1	0,00
Na (mg/L)	12,6	16	14	13	11,3	10,9	1,60	12,7	1	1	1	-0,75

Tabela 4.3 Sumário estatístico para a Fonte Santa Lúcia

Parâmetro	Média	Máximo	Quartil Superior	Mediana	Quartil Inferior	Mínimo	Desvio Padrão	CV (%)	n (IC = 90%)	n (IC = 95%)	n (IC = 99%)	As
Alcalinos	21	21,6	21,4	21	20,8	20,5	0,44	2,10	1	1	1	0,00
Ca (mg/L)	9,8	10,5	9,8	9,8	9,5	9,4	0,43	4,39	1	1	1	0,00
Cl (mg/L)	0,15	0,18	0,18	0,15	0,15	0,1	0,03	20	1	1	1	0,00
CE ($\mu S/cm$)	121,6	128,5	125,6	120,6	117,6	115,6	5,39	4,43	1	1	1	0,56
F (mg/L)	0,12	0,15	0,14	0,12	0,1	0,1	0,02	16,67	1	1	1	0,00
Mg (mg/L)	9,5	9,6	9,6	9,5	9,5	9,4	0,08	0,84	1	1	1	0,00
pH	6,4	6,8	6,5	6,5	6	6	0,35	5,47	1	1	1	0,86
Na (mg/L)	0,95	1,0	0,98	0,96	0,9	0,9	0,05	5,26	1	1	1	-0,60

Tabela 4.4 Sumário estatístico para a Fonte Juliana

Parâmetro	Média	Máximo	Quartil Superior	Mediana	Quartil Inferior	Mínimo	Desvio Padrão	CV (%)	n (IC = 90%)	n (IC = 95%)	n (IC = 99%)	As
Alcalinos 1 (mg/L)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	0	0	1	1	1	0,00
Alcalinos 2 (mg/L)	11,4	11,4	11,4	11,4	11,3	11,3	0,06	0,53	1	1	1	0,00
Ca (mg/L)	6,9	8,7	6,4	6,25	6,25	6,25	1,20	17,39	1	1	1	1,63
Cl (mg/L)	2,4	2,5	2,5	2,5	2,16	2,16	0,17	7,08	1	1	1	-1,76
CE ($\mu S/cm$)	25	98,3	0,6	0,6	0,6	0,6	48,9	195,60	11	15	26	1,50
F (mg/L)	0,17	0,35	0,21	0,1	0,1	0,07	0,10	58,82	1	2	3	2,10
Mg (mg/L)	3,6	4,2	3,5	3,5	3,3	3,3	0,38	10,56	1	1	1	0,79
pH	6,8	7,2	6,9	6,5	6,5	6,5	0,34	5	1	1	1	2,65
Na (mg/L)	7,4	9,4	7,2	6,5	6,5	6,5	1,35	18,24	1	1	1	2,00

Tabela 4.5 Sumário estatístico para a Fonte Verônica

Parâmetro	Média	Máximo	Quartil Superior	Mediana	Quartil Inferior	Mínimo	Desvio Padrão	CV (%)	n (IC = 90%)	n (IC = 95%)	n (IC = 99%)	As
Alcalinos 1 (mg/L)	11,8	12,5	12	11,6	11,5	11,5	0,39	3,31	1	1	1	1,54
Alcalinos 2	10,9	12	11,5	10,8	10,5	9,4	0,62	5,69	1	1	1	0,48
Ca (mg/L)	6,5	6,8	6,5	6,4	6,4	6,3	0,15	2,31	1	1	1	2,00
Cl (mg/L)	2,9	4	3,4	2,5	2,5	2,4	0,54	18,62	1	1	1	2,22
CE ($\mu S/cm$)	0,62	0,65	0,65	0,65	0,6	0,5	0,04	6,45	1	1	1	-2,25
F (mg/L)	0,13	0,29	0,16	0,1	0,1	0,06	0,06	46,15	1	1	2	1,50
Mg (mg/L)	3,4	3,5	3,5	3,3	3,2	3	0,13	3,82	1	1	1	2,31
pH	6,4	7,2	6,6	6,4	6	6	0,36	5,63	1	1	1	0,00
Na (mg/L)	7	7,6	7,4	7	6,7	6,2	0,45	6,43	1	1	1	0,00

Tabela 4.6 Sumário estatístico para a Fonte Primavera

Parâmetro	Média	Máximo	Quartil Superior	Mediana	Quartil Inferior	Mínimo	Desvio Padrão	CV (%)	n (IC = 90%)	n (IC = 95%)	n (IC = 99%)	As
Alcalinos	22,92	22,6	21,4	20,5	20,3	19,5	0,89	3,84	1	1	1	8,16
Ca (mg/L)	25,8	33,5	31,2	24,5	20,6	10,4	6,72	26,03	1	1	1	0,58
Cl (mg/L)	11,56	14,5	12,0	11,5	10,5	10,2	1,22	10,52	1	1	1	0,15
CE ($\mu S/cm$)	204,32	268,4	265,3	252,5	135,6	50,5	78,34	38,34	1	1	1	-1,85
F (mg/L)	0,116	0,18	0,12	0,12	0,10	0,03	0,035	29,86	1	1	1	-0,34
Mg (mg/L)	12,84	16,2	14,5	12,5	11,5	10,2	1,96	15,23	1	1	1	0,52
pH	7,426	8,0	7,5	7,44	7,2	6,9	0,30	4,08	1	1	1	-0,14
Na (mg/L)	3,313	4,2	3,5	3,5	3,3	1,6	0,68	20,38	1	1	1	-0,82

Tabela 4.7 Sumário estatístico para a Fonte Água Santa

Parâmetro	Média	Máximo	Quartil Superior	Mediana	Quartil Inferior	Mínimo	Desvio Padrão	CV (%)	n (IC = 90%)	n (IC = 95%)	n (IC = 99%)	As
Alcalinos	22,97	42,5	20,8	20,5	19,5	18,4	7,92	34,49	1	1	1	0,94
Ca (mg/L)	15,14	18,2	16,2	15,2	13,5	12,5	1,64	10,88	1	1	1	-0,11
Cl (mg/L)	3,59	11,2	10,0	0,2	0,16	0,14	5,01	138,67	6	8	13	2,03
CE ($\mu S/cm$)	129,2	135,6	133,4	132,0	130,2	106,4	9,05	7,01	1	1	1	-0,93
F (mg/L)	0,158	0,25	0,21	0,15	0,10	0,05	0,06	41,50	1	1	1	0,40
Mg (mg/L)	9,54	10,2	9,8	9,55	9,45	8,65	0,43	4,54	1	1	1	-0,07
pH	7,293	7,8	7,6	7,6	6,8	6,5	0,49	6,76	1	1	1	-1,88
Na (mg/L)	1,173	1,5	1,2	1,12	1,00	0,92	0,19	16,75	1	1	1	0,84

Tabela 4.8. Sumário estatístico para a Fonte Ycuara

Parâmetro	Média	Máximo	Quartil Superior	Mediana	Quartil Inferior	Mínimo	Desvio Padrão	CV (%)	n (IC = 90%)	n (IC = 95%)	n (IC = 99%)	As
Alcalinos	21,21	22,5	21,4	21,2	20,6	19,5	0,85	4,01	1	1	1	0,04
Ca (mg/L)	7,59	33,4	3,8	3,65	3,5	3,4	10,30	135,71	5	8	13	1,15
Cl (mg/L)	1,83	2,8	1,95	1,75	1,5	1,3	0,39	21,58	1	1	1	0,62
CE ($\mu S/cm$)	149,16	162,0	156,4	149,5	145,5	125,6	9,61	6,44	1	1	1	-0,11
F (mg/L)	0,96	1,3	0,95	0,91	0,87	0,84	0,14	15,20	1	1	1	1,07
Mg (mg/L)	1,392	1,89	1,5	1,3	1,25	1,15	0,22	15,82	1	1	1	1,25
pH	7,273	7,8	7,5	7,3	6,8	6,8	0,34	4,68	1	1	1	-0,24
Na (mg/L)	31,88	36,5	34,5	31,4	29,5	25,8	3,33	10,46	1	1	1	0,43

Tabela 4.9. Sumário estatístico para a Fonte Maestro

Parâmetro	Média	Máximo	Quartil Superior	Mediana	Quartil Inferior	Mínimo	Desvio Padrão	CV (%)	n (IC = 90%)	n (IC = 95%)	n (IC = 99%)	As
Bactérias Heterotróficas (UFC/100 ml)	154,3	480	230	48	0	0	181,47	117,61	4	6	10	1,76

Foram construídos os histogramas para todos os parâmetros das 9 fontes analisadas. Estes histogramas podem ser vistos no apêndice B nos anexos da presente tese. Discutiremos sobre o número mínimo de amostras obtido e os histogramas no item a seguir.

Ao olhar as tabelas 4.1 a 4.9 é possível perceber que foi calculado o parâmetro A_S , que corresponde ao coeficiente de assimetria dos dados.

Segundo o autor Artes (2014, p. 5), o coeficiente de assimetria de Pearson baseia-se na posição relativa das medidas de tendência central de acordo com o tipo de assimetria dos dados. Como dispomos dos dados referentes à média, mediana e desvio padrão das fontes, optou-se por calcular o segundo coeficiente de assimetria de Pearson por meio da seguinte fórmula:

$$A_S = \frac{3(\bar{x} - m_d)}{s} \quad (4.1)$$

Onde:

\bar{x} = média dos parâmetros

s = desvio padrão

m_d = mediana dos dados

A_S = segundo coeficiente de assimetria de Pearson.

Segundo Cunha (2017), os valores do segundo coeficiente de assimetria de Pearson devem ser interpretados da seguinte forma:

- $-1 < A_S < 1$, então a distribuição é simétrica.
- $A_S > 1$, então a distribuição é assimétrica positiva.
- $A_S < -1$, então a distribuição é assimétrica negativa.

Foi feita a análise do coeficiente de assimetria de cada fonte com base na interpretação acima. Os valores do coeficiente de assimetria encontram-se na tabela 4.9.

Para ficar mais a compreensão, optou-se por colocar a classificação dos parâmetros de qualidade quanto à simetria na tabela 4.10.

Tabela 4.10. Classificação dos parâmetros de qualidade quanto à assimetria

Nome da Fonte	Dados simétricos	Dados assimétricos
Maestro	Nenhum	Todos os parâmetros.
Santo Antonio	Alcalinidade, cálcio, condutividade, fluoreto, magnésio e sódio.	Cloreto e pH.
Sonja	Todos os parâmetros.	Nenhum.
Santa Lúcia	Todos os parâmetros	Nenhum.
Primavera	Cálcio, cloreto, fluoreto, magnésio, pH e sódio.	Alcalinidade e condutividade elétrica.
Juliana	Alcalinidade bicarbonato, alcalinidade carbonato, magnésio.	Cálcio, cloreto, condutividade, fluoreto, pH e sódio.
Verônica	Alcalinidade carbonato, pH e sódio.	Alcalinidade carbonato, cálcio, cloreto, co3ndutividade, cloreto e magnésio.
Água Santa	Alcalinidade, cálcio, condutividade, fluoreto e magnésio.	Cloreto e pH.
Ycuara	Alcalinidade, cálcio, condutividade, fluoreto e magnésio e sódio	Condutividade e pH.

Faremos as discussões sobre o critério de suficiência amostral e os resultados obtidos no item a seguir.

4.2 Discussões sobre os dados do sumário estatístico das fontes

Para obter o número de amostras para cada parâmetro de qualidade da água, presumimos que a curva de distribuição dos dados tratava-se de uma curva de distribuição normal, por meio da análise dos histogramas é possível averiguar que a distribuição dos dados é assimétrica para todos os parâmetros que foram analisados.

O autor Gy (2004, p. 18) nos explica que a ordem de grandeza dos teores está correlacionada com a forma da curva da distribuição de probabilidade dos dados analisados. O autor denomina o teor como sendo a_L e sobre a ordem de grandezas e a forma da curva a ser vista no histograma, o autor Gy (2004, p. 18) nos diz o seguinte:

“Quando a_L é maior que, digamos 1 ppm, a lei de distribuição pertinente é normal, ou pode ser ao menos frequentemente ser aproximada por uma Distribuição Gaussiana. Quando a_L é menor que 1ppm (concentrações traço), a distribuição frequentemente se torna assimétrica. De acordo com o caso ela pode ser aproximada por uma distribuição lognormal ou uma distribuição Poisson etc.”

Os teores dos elementos químicos da água mineral costumam ser da ordem de grandeza de ppm (partes por milhão) como poder ser visto quando expressamos alguns parâmetros químicos em miligramas por litro.

Por meio da análise visual dos dados dos histogramas dos parâmetros das fontes e do entendimento do que foi dito por Gy, pode-se averiguar que boa parte dos parâmetros analisados apresentaram distribuição assimétrica dos dados.

Ao fazer as análises das fontes temia-se que não fosse coletado um número de amostras suficiente, visto que ao fazermos os histogramas dos dados, os mesmos não apresentavam uma distribuição normal.

Devido a este fato, decidiu-se calcular o segundo coeficiente de Pearson para analisar a simetria da curva dos dados amostrados.

Pode-se dizer que o critério de suficiência amostral somente foi atingido nos parâmetros que tiveram os seguintes valores: $-1 < A_S < 1$, ou seja, nos dados que apresentassem uma curva simétrica com distribuição normal gaussiana.

Não foi possível atender ao critério de suficiência amostral para todos os parâmetros de todas as fontes. Com bases nos cálculos do coeficiente de assimetria, foi possível ver que a maior dos parâmetros analisados apresenta assimetria que pode ser vista nos valores de A_S que estão mostrados nas tabelas 4.1 a 4.9. A análise visual dos histogramas contidos no apêndice B desta tese contribui para mostrar o caráter assimétricos dos dados coletados.

O critério de suficiência amostral só poderia ser atendido se pudéssemos garantir que a distribuição dos dados fosse normal. Comparando os dados obtidos com aquilo que é dito por autor Gy (2004, p. 18) podemos averiguar que esta afirmação vale de todo para os dados amostrados para água mineral.

Há casos em que os parâmetros são menores que 1 ppm, mas apresentam a distribuição normal dos dados. Isso pode ser visto no caso do fluoreto para as seguintes fontes: Santo Antonio,

Sonja, Santa Lúcia, Água Santa e Primavera. O mesmo ocorre com o sódio da Fonte Água Santa e da Fonte Santa Lúcia.

Não é possível obter um número de amostras que se baseie apenas na distribuição dos dados dos parâmetros. Apesar da ordem de grandeza dos parâmetros químicos da água serem da ordem parte por milhão, a variabilidade dos dados em si durante um intervalo, é que vai garantir se os dados terão distribuição normal, ou distribuição assimétrica positiva ou negativa.

Não faz sentido obter o número de amostras com base apenas na estatística e na variabilidade dos dados sem levar em consideração o tempo.

Para que se determine o número mínimo de amostras para cada parâmetro, ou um número de amostras mínimo que possa atender às necessidades de cada parâmetro conjuntamente, é que se fez necessário o uso dos cálculos de variância de extensão.

A variabilidade dos parâmetros de qualidade de água está condicionada ao tempo, qualquer tentativa ou aproximação para se levantar o número de amostras mínimas deve levar em conta o intervalo de tempo em que as amostras foram coletadas.

4.3 Correlação entre os parâmetros de qualidade da água

A matriz correlação somente foi calculada para as seguintes fontes: Santo Antonio, Sonja, Santa Lúcia, Juliana, Verônica, Primavera, Ycuara e Água Santa. Os cálculos foram feitos conforme a descrição item 2.14.

Os resultados do cálculo da matriz de correlação são mostrados nas tabelas 4.11 a 4.18. Para a Fonte Santo Antonio, os seguintes pares de parâmetros apresentaram alto grau de correlação: alcalinidade e pH; e cálcio e magnésio. Para a Fonte Sonja, os seguintes pares de parâmetros apresentaram alto grau de correlação: cálcio e sódio; e condutividade e lítio.

Para a Fonte Santa Lúcia, os seguintes pares de parâmetros apresentaram alto grau de correlação: alcalinidade e flúor, alcalinidade e pH, cálcio e cloreto, cloreto e sódio, condutividade e sódio e flúor e pH. Para a Fonte Juliana, todos parâmetros apresentaram alto grau de correlação. Convém dizer que houve três medições realizadas no mesmo dia.

Para a Fonte Verônica, boa parte dos pares de elementos apresentaram alto grau correlação, conforme mostra a tabela 4.15. Para esta fonte, o pH apresentou baixa correlação com todos os outros parâmetros.

Para a Fonte Primavera, todos os elementos apresentaram baixo grau de correlação entre si, conforme mostra a tabela 4.16.

Para a Fonte Água Santa, os seguintes parâmetros apresentaram alto grau de correlação: alcalinidade e condutividade, cálcio e fluoreto, cálcio e pH e cloreto e pH.

Para a Fonte Ycuara, apenas os parâmetros cloreto e fluoreto apresentaram alto grau de correlação entre si.

Tabela 4.11 – Matriz correlação Fonte Santo Antonio

	alcalinidade	cálcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnésio	pH	sódio
Alcalinidade	1,0000	0,2542	0,5374	-0,0877	-0,1687	0,1414	0,8040	-0,4894
Cálcio	0,2542	1,0000	0,5746	-0,1783	0,2265	0,9623	0,2844	0,3771
Cloreto	0,5374	0,5746	1,0000	0,1308	-0,0456	0,4029	0,4053	-0,1948
condutividade	-0,0877	-0,1783	0,1308	1,0000	-0,5636	-0,2951	-0,4958	-0,3351
Fluoreto	-0,1687	0,2265	-0,0456	-0,5636	1,0000	0,3016	0,2144	0,3810
Magnésio	0,1414	0,9623	0,4029	-0,2951	0,3016	1,0000	0,2315	0,5227
pH	0,8040	0,2844	0,4053	-0,4958	0,2144	0,2315	1,0000	-0,2481
Sódio	-0,4894	0,3771	-0,1948	-0,3351	0,3810	0,5227	-0,2481	1,0000

Tabela 4.12 – Matriz correlação Fonte Sonja

	alcalinidade	cálcio	cloreto	condutividade	fluoreto	lítio	magnésio	pH	sódio
alcalinidade	1,0000	0,7331	0,0223	-0,3640	0,5202	-0,3508	0,1045	0,1544	0,7107
cálcio	0,7331	1,0000	0,0749	-0,5820	0,6385	-0,6102	0,3601	-0,1278	0,9203
cloreto	0,0223	0,0749	1,0000	0,3246	-0,2590	0,2946	0,5804	0,0350	0,1839
condutividade	-0,3640	-0,3640	0,3246	1,0000	-0,6396	0,9314	0,1302	0,3722	-0,3458
fluoreto	0,5202	0,6385	-0,2590	-0,6396	1,0000	-0,6624	-0,2364	0,0166	0,4621
lítio	-0,3508	-0,6102	0,2946	0,9314	-0,6624	1,0000	0,0294	0,3482	-0,3452
magnésio	0,1045	0,3601	0,5804	0,1302	-0,2364	0,0294	1,0000	-0,1785	0,5078
pH	0,1544	-0,1278	0,0350	0,3722	0,0166	0,3482	-0,1785	1,0000	-0,1020
sódio	0,7107	0,9203	0,1839	-0,3458	0,4621	-0,3452	0,5078	-0,1020	1,0000

Tabela 4.13 – Matriz correlação Fonte Santa Lúcia

	alcalinidade	cálcio	cloreto	condutividade	flúor	magnésio	pH	sódio
alcalinidade	1,0000	-0,3527	0,6121	-0,4208	0,8722	0,6414	-0,9740	-0,5990
cálcio	-0,3527	1,0000	-0,7685	0,7568	-0,2039	-0,0734	0,3480	0,6687
cloreto	0,6121	-0,7685	1,0000	-0,9360	0,2435	0,4375	-0,4863	-0,9583
condutividade	-0,4208	0,7568	-0,9360	1,0000	-0,1174	-0,1081	0,2714	0,9706
flúor	0,8722	-0,2039	0,2435	-0,1174	1,0000	0,3157	-0,9253	-0,2775
magnésio	0,6414	-0,0734	0,4375	-0,1081	0,3157	1,0000	-0,6176	-0,2736
pH	-0,9740	0,3480	-0,4863	0,2714	-0,9253	-0,6176	1,0000	0,4428
sódio	-0,5990	0,6687	-0,9583	0,9706	-0,2775	-0,2736	0,4428	1,0000

Tabela 4.14 – Matriz correlação Fonte Juliana

	alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade carbonato	cálcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnésio	pH	sódio
alcalinidade bicarbonato	1,0000	0,9999	0,9983	-1,0000	1,0000	-1,0000	1,0000	0,8325	0,9740
alcalinidade carbonato	0,9999	1,0000	0,9975	-0,9999	0,9999	-0,9999	0,9999	0,8260	0,9713
cálcio	0,9983	0,9975	1,0000	-0,9983	0,9983	-0,9983	0,9983	0,8636	0,9856
cloreto	-1,0000	-0,9999	-0,9983	1,0000	-1,0000	1,0000	-1,0000	-0,8325	-0,9740
condutividade	1,0000	0,9999	0,9983	-1,0000	1,0000	-1,0000	1,0000	0,8325	0,9740
fluoreto	-1,0000	-0,9999	-0,9983	1,0000	-1,0000	1,0000	-1,0000	-0,8325	-0,9740
magnésio	1,0000	0,9999	0,9983	-1,0000	1,0000	-1,0000	1,0000	0,8325	0,9740
pH	0,8325	0,8260	0,8636	-0,8325	0,8325	-0,8325	0,8325	1,0000	0,9364
sódio	0,9740	0,9713	0,9856	-0,9740	0,9740	-0,9740	0,9740	0,9364	1,0000

Tabela 4.15 – Matriz correlação Fonte Verônica

	alcalinidade bicarbonato	alcalinidade carbonato	cálcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnésio	pH	sódio
alcalinidade bicarbonato	1,0000	0,9751	0,9698	-0,2136	0,9782	-0,9781	0,8691	0,4195	0,7345
alcalinidade carbonato	0,9751	1,0000	0,9195	-0,0931	0,9567	-0,9565	0,8101	0,3806	0,6821
cálcio	0,9698	0,9195	1,0000	-0,2679	0,9521	-0,9520	0,8083	0,4767	0,8054
cloreto	-0,2136	-0,0931	-0,2679	1,0000	-0,2472	0,2475	-0,0382	-0,0616	-0,5867
condutividade	0,9782	0,9567	0,9521	-0,2472	1,0000	-1,0000	0,8539	0,4837	0,7175
fluoreto	-0,9781	-0,9565	-0,9520	0,2475	-1,0000	1,0000	-0,8539	-0,4838	-0,7169
magnésio	0,8691	0,8101	0,8083	-0,0382	0,8539	-0,8539	1,0000	0,4247	0,4440
pH	0,4195	0,3806	0,4767	-0,0616	0,4837	-0,4838	0,4247	1,0000	0,3913
sódio	0,7345	0,6821	0,8054	-0,5867	0,7175	-0,7169	0,4440	0,3913	1,0000

Tabela 4.16 – Matriz correlação Fonte Primavera

	alcalinidade	cálcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnésio	pH	sódio
alcalinidade	1,0000	-0,1075	-0,1992	0,5137	-0,0447	-0,2526	-0,0808	0,2730
cálcio	-0,1075	1,0000	0,6819	-0,2360	0,0682	0,8405	0,6394	0,6696
cloreto	-0,1992	0,6819	1,0000	-0,3493	0,3018	0,6536	0,6416	0,3602
condutividade	0,5137	-0,2360	-0,3493	1,0000	0,4920	-0,4537	0,0719	0,4766
fluoreto	-0,0447	0,0682	0,3018	0,4920	1,0000	0,0782	0,3266	0,3595
magnésio	-0,2526	0,8405	0,6536	-0,4537	0,0782	1,0000	0,5861	0,3925
pH	-0,0808	0,6394	0,6416	0,0719	0,3266	0,5861	1,0000	0,6203
sódio	0,2730	0,6696	0,3602	0,4766	0,3595	0,3925	0,6203	1,0000

Tabela 4.17 – Matriz correlação Fonte Água Santa

	alcalinidade	cálcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnésio	pH	sódio
alcalinidade	1,0000	0,7370	-0,2234	-0,9598	-0,6931	0,4951	0,0436	-0,0044
cálcio	0,7370	1,0000	0,3701	-0,6279	-0,8481	0,7020	-0,4871	0,3550
cloreto	-0,2234	0,3701	1,0000	0,2628	-0,4463	0,2047	-0,9166	0,6174
condutividade	-0,9598	-0,6279	0,2628	1,0000	0,6290	-0,3729	-0,0913	0,0233
fluoreto	-0,6931	-0,8481	-0,4463	0,6290	1,0000	-0,5259	0,5058	-0,3903
magnésio	0,4951	0,7020	0,2047	-0,3729	-0,5259	1,0000	-0,3303	0,4654
pH	0,0436	-0,4871	-0,9166	-0,0913	0,5058	-0,3303	1,0000	-0,5396
sódio	-0,0044	0,3550	0,6174	0,0233	-0,3903	0,4654	-0,5396	1,0000

Tabela 4.18 – Matriz correlação Fonte Ycuara

	alcalinidade	cálcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnésio	pH	sódio
alcalinidade	1,0000	0,0844	-0,0173	-0,1204	0,0029	0,2254	0,0653	-0,4147
cálcio	0,0844	1,0000	0,8437	-0,1258	0,9477	0,1969	0,3336	0,0644
cloreto	-0,0173	0,8437	1,0000	-0,2504	0,7572	0,3581	0,2745	-0,1338
condutividade	-0,1204	-0,1258	-0,2504	1,0000	0,0115	0,2356	-0,2865	0,3017
fluoreto	0,0029	0,9477	0,7572	0,0115	1,0000	0,0800	0,3918	0,2389
magnésio	0,2254	0,1969	0,3581	0,2356	0,0800	1,0000	-0,3830	-0,4787
pH	0,0653	0,3336	0,2745	-0,2865	0,3918	-0,3830	1,0000	0,5578
sódio	-0,4147	0,0644	-0,1338	0,3017	0,2389	-0,4787	0,5578	1,0000

Com base na análise das tabelas 4.11 a 4.18, é possível ver que cada fonte apresenta pares de elementos com alto grau de correlação que variam de uma fonte para outra. Com os resultados obtidos chegamos a duas situações extremas: para a Fonte Juliana temos os parâmetros apresentando alto grau de correlação entre si, para a Fonte Primavera, todos os parâmetros apresentaram baixo grau de correlação entre si.

Consultaram-se alguns artigos na literatura para poder entender a correlação entre os parâmetros mais importantes que foram analisados.

Foi possível detectar que o fluoreto e a condutividade apresentaram significativo grau de correlação para as seguintes fontes: Santo Antonio, Sonja, Juliana, Verônica e Água Santa. Para estas fontes o coeficiente de correlação de Pearson foi maior que 0,50 ($\rho \geq 0,50$). Para as fontes Santa Lúcia, Primavera e Ycuara, os coeficientes são menores que 0,50 ($\rho \leq 0,50$).

Os autores SOARES et al (2016, p. 126) nos dão a seguinte explicação sobre a correlação entre o parâmetro químico fluoreto e o parâmetro físico-químico condutividade elétrica (CE):

“A hipóteses da correlação entre os fluoretos e a condutividade elétrica, está em função da natureza solúvel do fluoreto compondo parte dos sólidos totais dissolvidos além de sua elevada sensibilidade frente a temperatura.”

Apenas para a Fonte Juliana, o pH e a condutividade elétrica apresentaram um grande coeficiente de correlação ($\rho = 0,8325$). Para as demais fontes o coeficiente de correlação entre o pH e a condutividade foi bem baixo ($-0,50 \leq \rho \leq -0,50$). Nos trabalhos dos autores SOARES et al (2016, p. 126) e SIMONELI (2017, p. 10) foi possível constatar que os valores costumam estar contidos no seguinte intervalo de valores: $-0,50 \leq \rho \leq -0,50$.

Esperava-se que os íons Mg^{2+} e Ca^{2+} também apresentassem alto grau de correlação para todas as fontes amostradas. Encontrou-se um baixo grau de correlação ($\rho \leq 0,50$) entre os parâmetros cálcio e magnésio para as seguintes fontes: Sonja, Santa Lúcia, Ycuara. As demais captações apresentaram alto coeficiente de correlação para os íons Mg^{2+} e Ca^{2+} .

Também se esperava que os íons Na^+ e Cl^- apresentasse alto grau de correlação para todas as fontes. As seguintes fontes apresentaram baixo grau de correlação para estes íons: Santo Antonio, Sonja, Primavera e Ycuara. As demais fontes apresentaram alto grau de correlação entre os íons Na^+ e Cl^- .

Por último, considerava-se que a alcalinidade também podia apresentar alto grau de correlação com o pH em todas as fontes. Apenas as seguintes fontes apresentaram alto grau de correlação entre o pH e alcalinidade ($\rho \geq 0,50$): Santo Antonio, Santa Lúcia e Juliana.

4.4 Discussão sobre a correlação entre os parâmetros de qualidade da água

Também desejava-se determinar o número mínimo de amostras com base na análise das matrizes de correlação e na comparação com os resultados disponíveis na literatura. Infelizmente isso não possível de ser feito.

Cada fonte analisada apresentou um valor de correlação muito diferente para os pares de íons analisados. Isso não nos permitiu estabelecer um padrão de como a concentração de determinado íon se correlaciona com a variação de outro íon.

A autora RIBEIRO (1992, p. 79) nos diz o seguinte sobre a concentração dos íons Ca^{2+} e F^- ; e da correlação entre o íon F^- e o pH:

“As maiores concentrações de F^- , em águas subterrâneas, se referem àqueles que possuem elevado pH. Esta condição segundo HEM (1959) é necessária para a adsorção e substituição de ânions por F^- nas superfícies dos minerais. Tal fato ocorre em águas alcalinas sob grande confinamento. O equilíbrio dos íons, em solução depende das condições físico-químicas e dos efeitos de competitividade dos elementos maiores (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+). Entre estes, o mais importante é o Ca^{2+} . Embora o processo e os fatores codeterminantes não sejam bem conhecidas, resultados experimentais são bastante claros para se constatar que: altas concentrações de F^- ocorrem em águas relativamente pobres em Ca^{2+} .”

Interpretando o que foi dito pela autora RIBEIRO (1992, p. 79) podíamos presumir que o fluoreto e o pH tivessem correlação positiva para todas as fontes analisadas e que a correlação entre o íon Ca^{+2} e o F^- fosse negativa para todas as fontes.

A correlação entre o F^- e o pH foi positiva apenas para as seguintes fontes: Santo Antonio, Sonja, Primavera, Água Santa e Ycuara. A correlação entre os íons Ca^{2+} e F^- foi negativa apenas para as seguintes fontes: Santa Lúcia, Juliana, Verônica e Água Santa.

Foi interessante observar que a correlação entre os parâmetros se dá de forma diferenciada no mesmo aquífero. Por exemplo, tomemos os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} . No Aquífero Pré-Cambriano temos os seguintes valores para o coeficiente de correlação de Pearson: $\rho = 0,9623$ (Fonte Santo Antonio), $\rho = 0,3601$ (Fonte Sonja), $\rho = -0,0734$ (Fonte Santa Lúcia) e $\rho = 0,8405$ (Fonte Primavera). Com relação ao Aquífero Tubarão temos para o mesmo par de íons os seguintes valores de coeficiente de correlação: $\rho = 0,9983$ (Fonte Juliana), $\rho = 0,8083$ (Fonte Verônica) e $\rho = 0,7020$ (Água Santa). Com relação ao Aquífero Tubarão é possível perceber que os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentam correlação positiva, e convém ressaltar que a Fonte Água Santa foi amostrada em período diferente das fontes Juliana e Verônica.

Além do mais convém dizer que o coeficiente de correlação de Pearson só nos permite ver a correlação “bruta” dos dados estudados pela Estatística Clássica. Coube à análise dos dados por meio dos variogramas, entender como a variação dos parâmetros de qualidade de água se deu ao longo do intervalo de amostragem. E quais os parâmetros de uma fonte que apresentaram maior variância temporal e como podem estar relacionados entre si.

Como a intenção desta tese é realizar a determinação do melhor intervalo de amostragem por meio do uso da variância de extensão, o estudo prévio das matrizes de correlação dos parâmetros de qualidade da águas foi uma ferramenta estatística útil para entender como se dava a variação dos parâmetros e para reforçar a necessidade do uso da variância de extensão que pode ser aplicada a todas as fontes analisadas e que pode nos levar a resultados mais abrangentes que podem ser aplicados nos três aquíferos estudados nesta tese e aplicados a outros aquíferos também.

4.5 Variogramas do Fluoreto para as Fontes

Neste item serão mostrados os variogramas para o fluoreto para as fontes em que foram realizadas as análises químicas. As discussões sobre os variogramas obtidos serão feitas no item a seguir. Nas figuras 4.1 a 4.8 são mostrados os variogramas das fontes estudadas.

Figura 4.1 – Variograma para o fluoreto da Fonte Santo Antonio

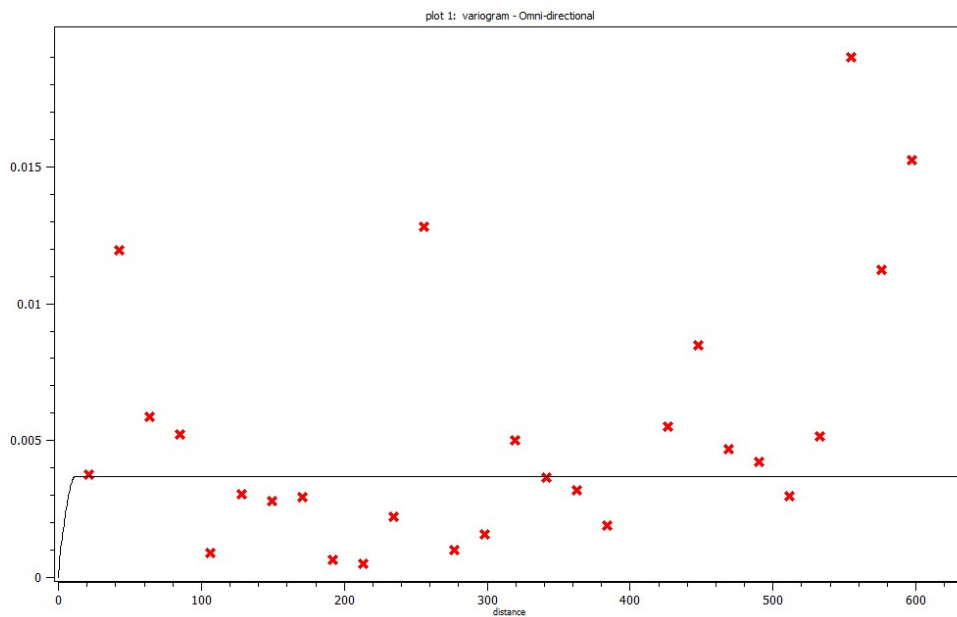


Figura 4.2 – Variograma para o fluoreto da Fonte Sonja

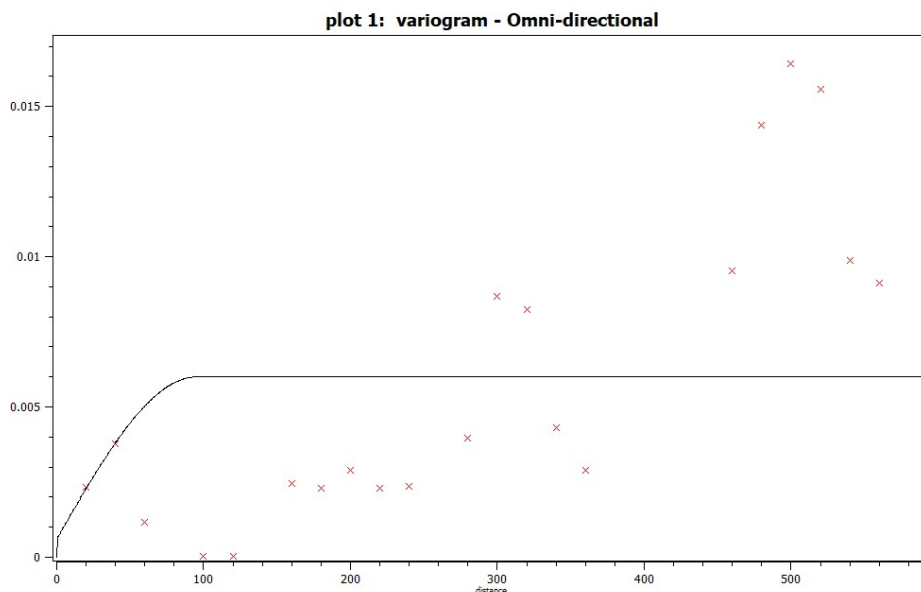


Figura 4.3 – Variograma para o fluoreto da Fonte Santa Lúcia

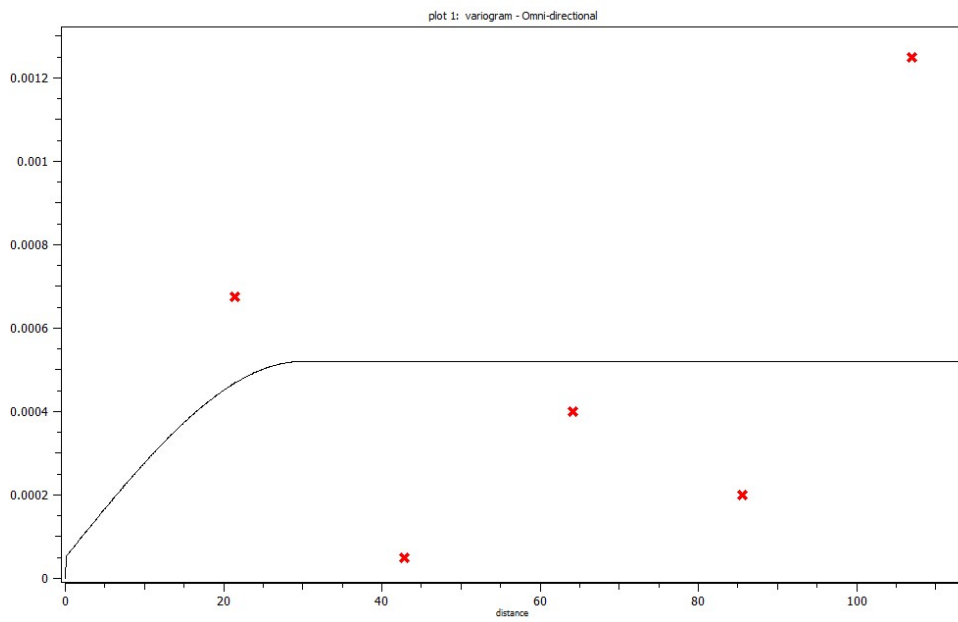


Figura 4.4 – Variograma para o fluoreto da Fonte Verônica

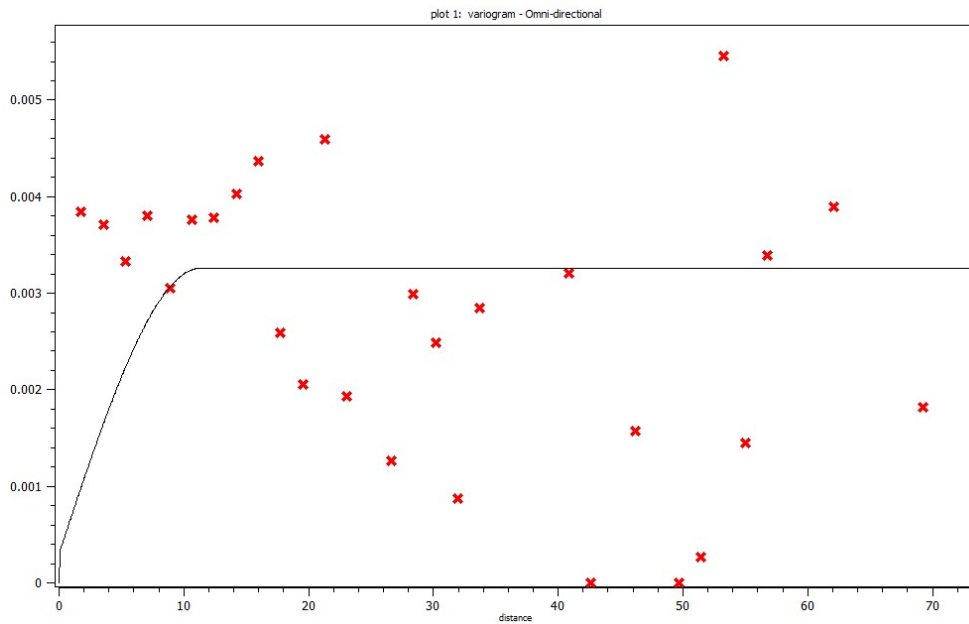


Figura 4.5 – Variograma para o fluoreto da Fonte Juliana

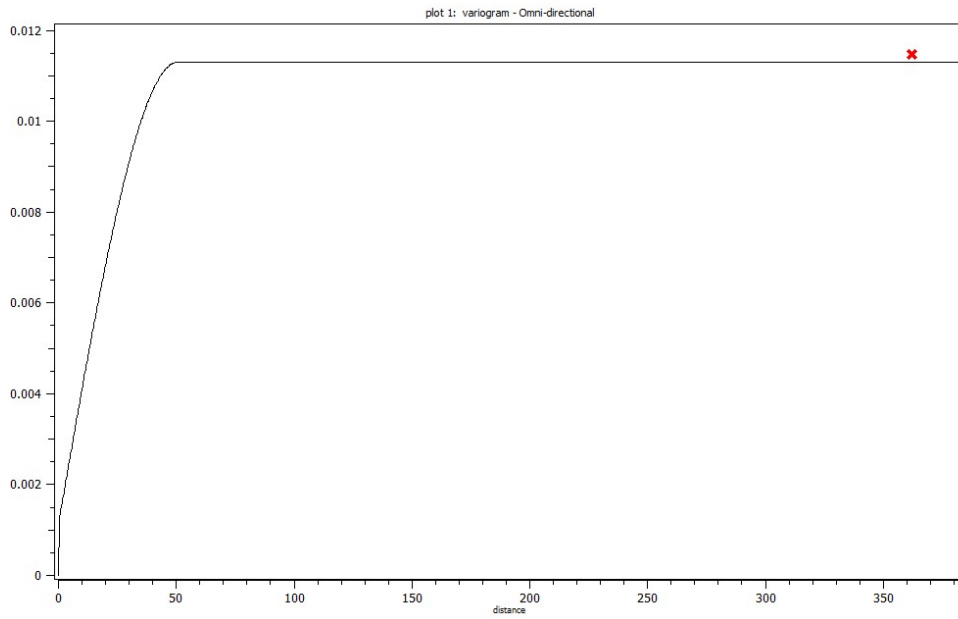


Figura 4.6 – Variograma para o fluoreto da Fonte Primavera

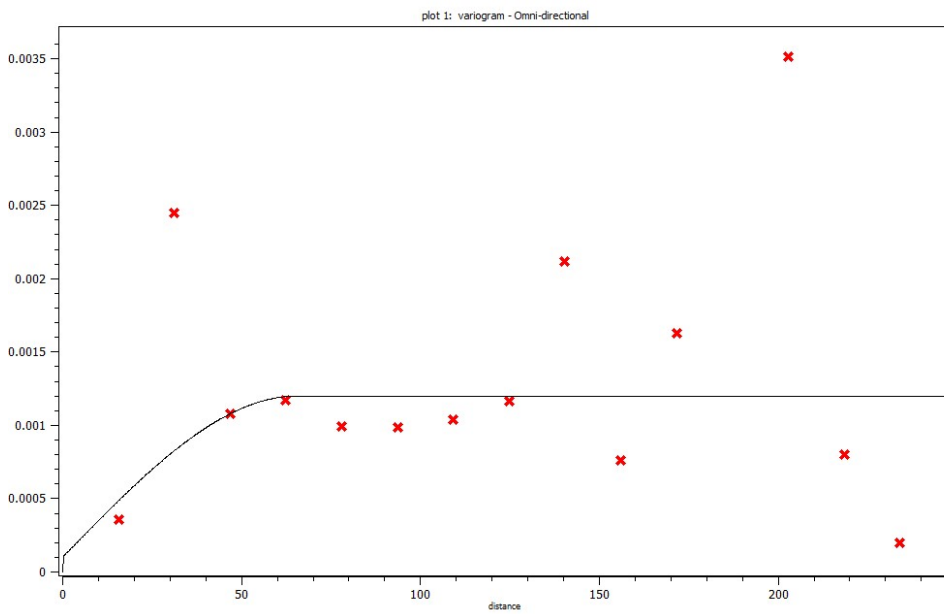


Figura 4.7 – Variograma para o fluoreto da Fonte Água Santa

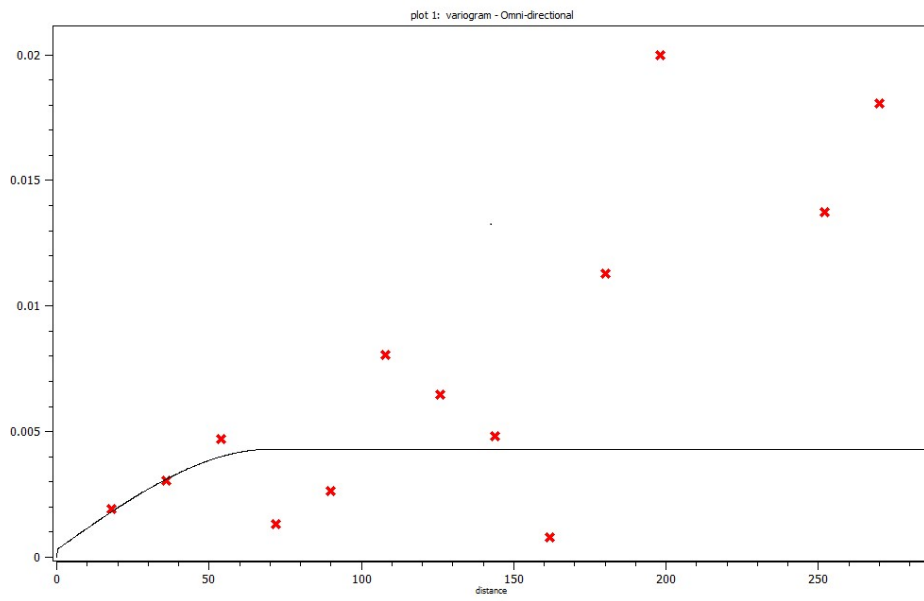
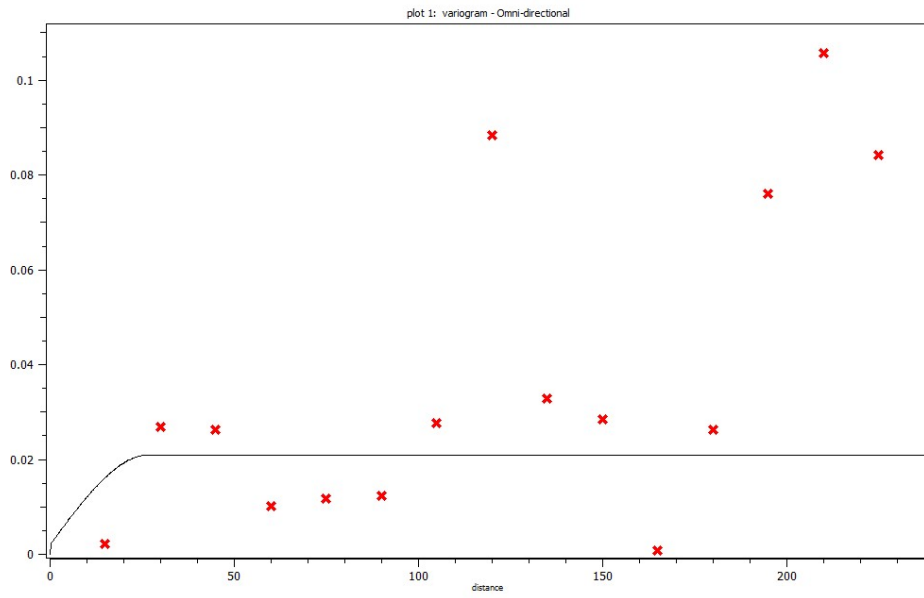


Figura 4.8 – Variograma para o fluoreto da Fonte Ycuara



4.6 Discussão sobre os variogramas do Fluoreto

Os dados que foram usados como parâmetros para se construir os variogramas do fluoreto são mostrados na tabela 4.19. Para os outros parâmetros de qualidade, os parâmetros da variografia encontram-se no item C dos Anexos dessa tese.

Como as águas minerais das oito captações são classificadas como fluoretadas, optou-se por discutir aqui os resultados do variogramas do fluoreto.

Analisando a tabela 4.19, é possível ver que os alcances máximos dos variogramas foi sempre menor que 120 dias para todas as fontes. Independentemente do número de lags (amostras) que foi usado, da distância entre os lags ou da estação climática em que se iniciou a campanha de amostragem de cada fonte, pode-se dizer que os dados do fluoreto possuem dependência temporal durante um intervalo de tempo menor que 120 dias ou 4 meses.

Pode-se dizer que a dependência temporal dos teores de fluoreto se dá apenas dentro de uma estação climática. Por exemplo, para a Fonte Primavera o alcance mínimo é 65,52 dias e o alcance máximo é igual a 93,62 dias. Isso quer dizer que após o período de 93,62 dias; os teores do fluoreto não são mais dependentes temporalmente entre si. E após 65,52 dias; os teores apresentam o comportamento aleatório. A amostragem da Fonte Primavera começou no dia 07/08/2017 na estação do inverno. Se acrescentarmos a essa data os 93,62 dias em questão, obtém-se a data de 09/11/2017, que corresponde à primavera.

Para a Fonte Primavera em questão, a dependência temporal dos teores do fluoreto se manteve durante o inverno e a primavera. Após os 93,62 dias, a partir da data inicial de amostragem, os dados começaram a ter o comportamento aleatório.

É interessante observar que para a Fonte Santo Antonio e para a Fonte Verônica, o alcance máximo do variograma foi menor que 14 dias. A Fonte Santo Antonio foi amostrada por um longo período de 596 dias. E a Fonte Verônica foi amostrada durante 72 dias.

O início da campanha de amostragem da Fonte Santo Antonio e da Fonte Sonja se deu no mês de dezembro de 2015. Ambas as fontes foram amostradas durante um longo período: 596 dias para a Fonte Santo Antonio e 560 dias para a Fonte Sonja. Elas pertencem ao mesmo aquífero, o Aquífero Pré-Cambriano. O alcance máximo para a Fonte Santo Antonio foi 11,93 dias e para a Fonte Sonja foi 106,4 dias.

O número de amostras para a Fonte Sonja e para a Fonte Santo Antonio foi 28 amostras. É interessante ver que a partir de 11,93 dias; o fluoreto da Fonte Santo Antonio perde sua dependência

temporal e passa a ter comportamento de variável aleatória, e a dependência temporal dos teores de fluoreto da Fonte Sonja dura 106,4 dias, a partir desse período, os teores de fluoreto passam a ter comportamento aleatório.

O modelo de variograma usado para ajustar os dados foi o modelo esférico. Ao se traçar os variogramas para o fluoreto e para as outras variáveis foram seguidas as recomendações do autor MACIEL (2017) no que tange o trabalho com séries temporais. Considerou-se os dados das análises como sendo séries temporais, ou seja, os dados do fluoreto e dos outros parâmetros são conjuntos de observações ordenadas no tempo. Com base nesse fato, buscou-se identificar a relação de dependência temporal existentes nos dados, buscou-se sinalizar o mecanismo que gerava a série temporal e extraiu-se as periodicidades importantes nas observações.

Ao extrair o caráter periódico dos dados ao se fazer o variograma, acabou-se por obter os valores relativamente baixos para os alcances do fluoreto. A extração da periodicidade dos dados foi recomendada pelo autor MACIEL (2017) e pelos autores OLIVER & WEBSTER (2015).

Segundo autor MACIEL (2017), ao se tirar as componentes cíclicas dos variogramas é possível entender e descrever o comportamento dos parâmetros de qualidade, e fazer previsões sobre o comportamento. Com relação aos variogramas do fluoreto, foi possível identificar os limites entre o comportamento geoestatístico e o comportamento aleatório dos teores para as fontes analisadas.

Tabela 4.19 – Parâmetros dos variogramas do fluoreto para as 8 fontes analisadas

Fluoreto									
Nome da Fonte	Média	Variância Total	Número de Lags	Distância Entre Lags	C0	C1	Ranges		
							Min	Med	Max
Santo Antonio	0,104	0,000368	28	21,32	0,00037	0,00333	11,93	11,93	11,93
Sonja	0,125	0,006	28	20	0,0006	0,0054	95,2	106,4	106,4
Santa Lúcia	0,122	0,00052	5	21,4	0,00005	0,00047	26,96	35,31	35,31
Primavera	0,116	0,0012	15	15,6	0,0001	0,0011	65,52	93,62	93,62
Verônica	0,1371	0,00326	40	1,775	0,0003	0,00296	11,36	13,49	13,49
Juliana	0,17	0,0113	7	51,72	0,00113	0,01017	50,68	97,75	97,75

Água Santa	0,1586	0,0043	15	18	0,0003	0,004	70,2	81	81
Ycuara	0,96	0,021	15	15	0,002	0,019	27	63	63

4.7 Resultados do cálculo da variância de extensão para as Bactérias Heterotróficas

É interessante constatar que apenas foi possível mensurar de forma quantitativa os dados do parâmetro bactérias heterotróficas apenas para a Fonte Maestro. As outras fontes apresentaram ausência deste parâmetro em todas as suas amostras conforme pode ser visto nos resultados das análises microbiológicas presentes no anexo deste trabalho.

Os cálculos para os erros relativos de amostragem são mostrados na tabela 4.20 para os intervalos de confiança 64% e 99,9%. O gráfico dos erros relativos é mostrado na figura 4.9. Com base na análise da tabela e do gráfico recomenda-se para a Fonte Maestro que o intervalo de coleta das amostras seja menor ou igual a dois dias. Por se tratar de um parâmetro microbiológico extremamente importante, recomenda-se que a coleta de amostras deste parâmetro seja diária.

Na tabela 4.20, o erro relativo para o intervalo de confiança $IC = 64\%$, foi obtido conforme a fórmula da equação 2.29. Para obter o erro relativo para o intervalo de confiança $IC = 99,9\%$; multiplicou o erro do intervalo de confiança igual a 64% por 3; conforme mostrado na equação 2.30.

Segundo os autores Domingues et al. (2007, p. 16), o valor para o parâmetro bactérias heterotróficas não deverá exceder o valor de 500 UFC (Unidades Formadoras de Colônia), conforme é possível ver na tabela 2.3 deste trabalho. Os autores Domingues et al. (2007, p. 16) também nos dão uma explicação sobre a importância da contagem das bactérias heterotróficas na água:

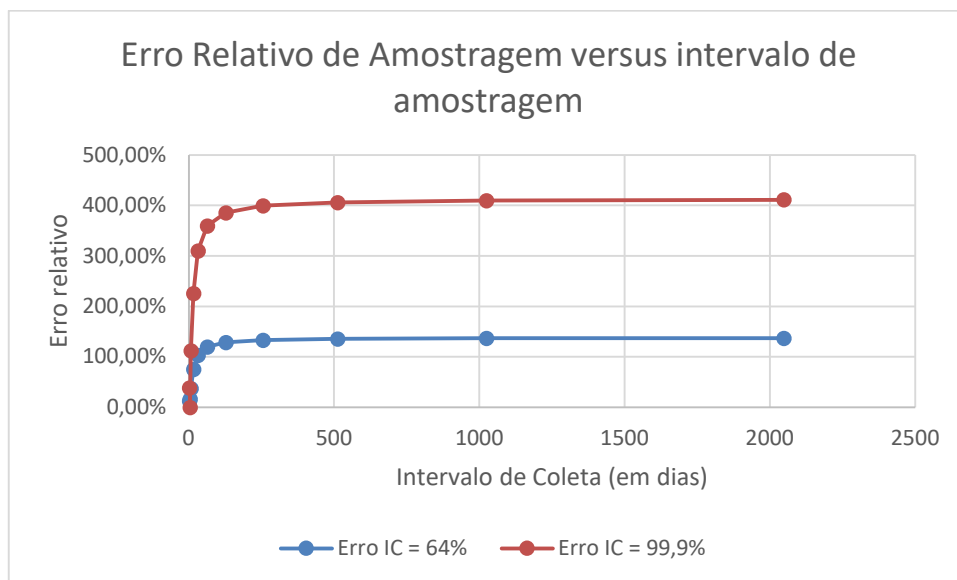
“A contagem de bactérias heterotróficas, genericamente definidas como microrganismos que requerem carbono orgânico como fonte de nutrientes, fornece informações sobre a qualidade bacteriológica da água de uma forma ampla. O teste inclui a detecção, inespecífica, de bactérias ou esporos de bactérias, sejam de origem fecal, componentes da flora natural da água ou resultantes da formação de biofilmes no sistema de distribuição. Servindo, portanto, de indicador auxiliar da qualidade da água, ao fornecer informações adicionais sobre eventuais falhas na desinfecção, colonização e formação de biofilmes no sistema de distribuição.”

Para o caso do poço Maestro, em que as embalagens são galões de 10 e 20 litros retornáveis pode-se presumir que deverá estar havendo algum problema no processo de lavagem dos garrafões com soda cáustica para que os mesmos possam ser reutilizados para um novo envase.

Tabela 4.20 – Erro relativo das Bactérias Heterotróficas da Fonte Maestro com IC = 64% e IC = 99,9%

Intervalo	Erro IC = 64%	Erro IC = 99,9%
2	12,80%	38,39%
4	16,19%	48,58%
8	37,31%	111,94%
16	75,32%	225,95%
32	103,48%	310,44%
64	119,87%	359,60%
128	128,59%	385,77%
256	133,13%	399,38%
512	135,43%	406,28%
1024	136,59%	409,76%
2048	137,17%	411,51%

Figura 4.9 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para as Bactérias Heterotróficas da Fonte Maestro para IC= 64% e IC= 99,9%



4.8 Resultados do cálculo da variância de extensão para os elementos químicos e físico-químicos das oito fontes amostradas

Os poços Fonte Santo Antonio, Fonte Sonja, Fonte Santa Lúcia e Fonte Primavera pertencem ao Aquífero Pré-Cambriano. Os poços Fonte Juliana, Fonte Verônica e Fonte Água Santa pertencem ao Aquífero Tubarão. Para o Aquífero São Paulo, temos apenas um poço amostrado que é a Fonte Ycuara.

Os resultados dos cálculos da variância de extensão para os parâmetros químicos e físico-químicos são mostrados nas tabelas 4.21 a 4.28. As figuras 4.10 a 4.17 mostram o gráfico do intervalo de coleta versus o erro relativo de amostragem para oito fontes estudadas. Nesses gráficos é possível ver o erro relativo de amostragem para os intervalos de confiança iguais a IC = 64% e IC = 99,9%.

Na tabela 4.29, encontram-se os dados sobre os erros de amostragem para o fluoreto de todas as oito fontes analisadas, os erros de amostragem também foram calculados para os intervalos de confiança iguais a IC = 64% e IC = 99,9%.

Todo o memorial de cálculo da variância de extensão pode ser visto no item D dos anexos dessa tese.

A figura 4.18 mostra o gráfico do erro relativo de amostragem versus o intervalo de coleta apenas para o item fluoreto de todas as oito fontes amostradas.

Discutiremos sobre todos os resultados obtidos nesse item no próximo item.

Tabela 4.21 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Santo Antonio com IC = 64% e IC = 99,9%

Fonte Santo Antonio												
Erro Relativo para IC = 64%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	0,41%	—	—	0,38%	—	0,29%	0,03%	3,42%	—	0,32%	0,07%	0,47%
4	0,41%	—	—	0,38%	—	0,29%	0,03%	3,47%	—	0,32%	0,07%	0,47%
8	0,41%	—	—	0,38%	—	0,29%	0,03%	3,76%	—	0,32%	0,07%	0,47%
16	0,41%	—	—	0,38%	—	0,29%	0,03%	6,15%	—	0,33%	0,07%	0,47%
32	0,42%	—	—	0,39%	—	0,29%	0,03%	14,40%	—	0,34%	0,07%	0,47%
64	0,46%	—	—	0,46%	—	0,30%	0,04%	22,78%	—	0,46%	0,07%	0,49%
128	0,82%	—	—	0,95%	—	0,31%	0,07%	28,02%	—	1,07%	0,08%	0,62%
256	1,88%	—	—	1,98%	—	0,43%	0,16%	30,91%	—	1,94%	0,17%	1,38%
512	2,84%	—	—	2,80%	—	1,01%	0,23%	32,43%	—	2,53%	0,33%	2,68%
1024	3,43%	—	—	3,26%	—	1,79%	0,28%	33,18%	—	2,86%	0,45%	3,65%

2048	3,74%	—	—	3,51%	—	2,33%	0,30%	33,59%	—	3,04%	0,52%	4,21%
Erro Relativo para IC = 99,9%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	1,23%	—	—	1,14%	—	0,88%	0,10%	10,26%	—	0,97%	0,20%	1,41%
4	1,23%	—	—	1,13%	—	0,88%	0,10%	10,40%	—	0,97%	0,20%	1,41%
8	1,23%	—	—	1,13%	—	0,88%	0,10%	11,29%	—	0,97%	0,20%	1,41%
16	1,23%	—	—	1,14%	—	0,88%	0,10%	18,44%	—	0,98%	0,20%	1,41%
32	1,25%	—	—	1,17%	—	0,88%	0,10%	43,19%	—	1,02%	0,20%	1,42%
64	1,39%	—	—	1,39%	—	0,89%	0,11%	68,34%	—	1,38%	0,21%	1,46%
128	2,47%	—	—	2,84%	—	0,93%	0,21%	84,07%	—	3,21%	0,24%	1,85%
256	5,64%	—	—	5,93%	—	1,30%	0,47%	92,72%	—	5,81%	0,50%	4,14%
512	8,52%	—	—	8,39%	—	3,04%	0,69%	97,30%	—	7,58%	0,98%	8,04%
1024	10,28%	—	—	9,78%	—	5,38%	0,83%	99,55%	—	8,59%	1,35%	10,96%
2048	11,22%	—	—	10,53%	—	6,98%	0,90%	100,77%	—	9,12%	1,56%	12,63%

Tabela 4.22 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Sonja com IC = 64% e IC = 99,9%

Fonte Sonja												
Erro Relativo para IC = 64%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	0,29%	—	—	0,64%	—	0,15%	0,24%	3,81%	0,26%	0,00%	0,00%	0,16%
4	0,29%	—	—	0,64%	—	0,15%	0,24%	3,80%	0,13%	0,00%	0,00%	0,16%
8	0,29%	—	—	0,64%	—	0,15%	0,24%	3,80%	0,39%	0,00%	0,00%	0,16%
16	0,30%	—	—	0,65%	—	0,16%	0,24%	3,80%	0,26%	0,00%	0,00%	0,16%
32	0,34%	—	—	0,65%	—	0,25%	0,24%	3,84%	0,39%	0,00%	0,00%	0,17%
64	0,65%	—	—	0,66%	—	0,59%	0,26%	4,13%	0,26%	0,00%	0,00%	0,28%
128	1,43%	—	—	0,73%	—	0,96%	0,41%	6,38%	0,39%	0,01%	0,01%	0,66%
256	2,09%	—	—	1,33%	—	1,20%	0,97%	15,14%	1,16%	0,01%	0,01%	1,04%
512	2,50%	—	—	2,99%	—	1,34%	1,58%	24,79%	1,81%	0,02%	0,02%	1,27%
1024	2,72%	—	—	4,49%	—	1,41%	1,97%	30,93%	2,45%	0,03%	0,03%	1,40%
2048	2,83%	—	—	5,39%	—	1,45%	2,19%	34,35%	2,58%	0,03%	0,03%	1,47%
Erro Relativo para IC = 99,9%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	0,88%	—	—	1,93%	—	0,45%	0,73%	11,43%	0,77%	0,30%	0,01%	0,47%
4	0,88%	—	—	1,93%	—	0,45%	0,72%	11,41%	0,39%	0,30%	0,01%	0,47%
8	0,88%	—	—	1,93%	—	0,45%	0,72%	11,39%	1,16%	0,30%	0,01%	0,47%
16	0,90%	—	—	1,94%	—	0,48%	0,72%	11,39%	0,77%	0,30%	0,01%	0,47%
32	1,03%	—	—	1,94%	—	0,74%	0,73%	11,52%	1,16%	0,31%	0,01%	0,51%
64	1,96%	—	—	1,97%	—	1,76%	0,79%	12,38%	0,77%	0,39%	0,01%	0,85%
128	4,29%	—	—	2,20%	—	2,88%	1,24%	19,15%	1,16%	0,88%	0,02%	1,98%
256	6,28%	—	—	3,99%	—	3,61%	2,92%	45,43%	3,48%	1,69%	0,04%	3,11%
512	7,49%	—	—	8,97%	—	4,02%	4,75%	74,38%	5,42%	2,26%	0,07%	3,82%

1024	8,15%	—	—	13,46%	—	4,23%	5,91%	92,80%	7,35%	2,60%	0,08%	4,21%
2048	8,50%	—	—	16,18%	—	4,34%	6,57%	103,05%	7,74%	2,78%	0,09%	4,42%

Tabela 4.23 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Santa Lúcia com IC = 64% e IC = 99,9%

Fonte Santa Lúcia												
Erro Relativo para IC = 64%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	0,00%	—	—	0,02%	—	0,30%	0,02%	0,34%	—	1,01%	0,03%	0,03%
4	0,00%	—	—	0,01%	—	0,31%	0,02%	0,34%	—	1,03%	0,03%	0,03%
8	0,00%	—	—	0,02%	—	0,31%	0,02%	0,34%	—	1,01%	0,04%	0,03%
16	0,01%	—	—	0,02%	—	0,37%	0,02%	0,35%	—	1,05%	0,06%	0,03%
32	0,01%	—	—	0,04%	—	0,81%	0,02%	0,48%	—	1,45%	0,14%	0,04%
64	0,02%	—	—	0,12%	—	2,04%	0,05%	1,14%	—	3,41%	0,21%	0,07%
128	0,03%	—	—	0,09%	—	3,17%	0,10%	2,07%	—	6,21%	0,26%	0,24%
256	0,04%	—	—	0,13%	—	3,89%	0,14%	2,72%	—	8,16%	0,28%	0,27%
512	0,04%	—	—	0,16%	—	4,28%	0,17%	3,08%	—	9,25%	0,29%	0,28%
1024	0,04%	—	—	0,18%	—	4,48%	0,18%	3,29%	—	9,86%	0,30%	0,29%
2048	0,04%	—	—	0,19%	—	4,59%	0,19%	3,37%	—	10,10%	0,58%	0,29%
Erro Relativo para IC = 99,9%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	0,01%	—	—	0,06%	—	0,90%	0,06%	1,01%	—	0,00%	0,10%	0,09%
4	0,01%	—	—	0,03%	—	0,92%	0,06%	1,03%	—	0,00%	0,10%	0,09%
8	0,01%	—	—	0,06%	—	0,93%	0,06%	1,01%	—	0,00%	0,11%	0,09%
16	0,02%	—	—	0,07%	—	1,10%	0,06%	1,05%	—	0,00%	0,19%	0,09%
32	0,03%	—	—	0,12%	—	2,43%	0,07%	1,45%	—	0,00%	0,43%	0,13%
64	0,06%	—	—	0,37%	—	6,13%	0,14%	3,41%	—	0,00%	0,64%	0,20%
128	0,09%	—	—	0,27%	—	9,52%	0,30%	6,21%	—	0,01%	0,77%	0,71%
256	0,11%	—	—	0,40%	—	11,66%	0,43%	8,16%	—	0,01%	0,84%	0,80%
512	0,12%	—	—	0,49%	—	12,84%	0,51%	9,25%	—	0,02%	0,88%	0,85%
1024	0,13%	—	—	0,53%	—	13,43%	0,55%	9,86%	—	0,02%	0,90%	0,87%
2048	0,13%	—	—	0,56%	—	13,76%	0,57%	10,10%	—	0,02%	1,73%	0,88%

Tabela 4.24 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Primavera com IC = 64% e IC = 99,9%

Fonte Primavera												
Erro Relativo para IC = 64%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	0,02%	—	—	0,72%	—	0,11%	1,47%	0,74%	—	0,23%	0,02%	0,37%
4	0,02%	—	—	0,72%	—	0,11%	1,47%	0,75%	—	0,23%	0,02%	0,36%
8	0,02%	—	—	0,73%	—	0,11%	1,47%	0,74%	—	0,23%	0,02%	0,36%
16	0,03%	—	—	0,80%	—	0,12%	1,47%	0,75%	—	0,24%	0,02%	0,36%
32	0,08%	—	—	1,32%	—	0,14%	1,50%	0,77%	—	0,34%	0,02%	0,37%
64	0,12%	—	—	3,07%	—	0,10%	1,74%	1,03%	—	0,81%	0,04%	0,37%
128	0,15%	—	—	4,86%	—	0,81%	3,35%	2,48%	—	1,40%	0,08%	0,41%
256	0,16%	—	—	5,96%	—	0,96%	7,10%	4,96%	—	1,81%	0,12%	0,75%
512	0,17%	—	—	6,57%	—	1,03%	10,16%	6,77%	—	2,03%	0,14%	1,80%
1024	0,17%	—	—	6,88%	—	1,07%	11,96%	7,83%	—	2,15%	0,15%	2,56%
2048	0,17%	—	—	7,04%	—	1,09%	12,91%	8,41%	—	2,21%	0,16%	3,70%
Erro Relativo para IC = 99,9%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	0,05%	—	—	2,16%	—	0,34%	4,41%	2,21%	—	0,68%	0,05%	1,10%
4	0,05%	—	—	2,16%	—	0,34%	4,41%	2,25%	—	0,68%	0,05%	1,09%
8	0,06%	—	—	2,19%	—	0,34%	4,41%	2,21%	—	0,69%	0,05%	1,09%
16	0,10%	—	—	2,39%	—	0,35%	4,42%	2,25%	—	0,73%	0,06%	1,09%
32	0,23%	—	—	3,96%	—	0,41%	4,50%	2,32%	—	1,02%	0,06%	1,10%
64	0,36%	—	—	9,22%	—	0,31%	5,21%	3,08%	—	2,43%	0,12%	1,11%
128	0,44%	—	—	14,59%	—	2,43%	10,05%	7,45%	—	4,21%	0,25%	1,24%
256	0,48%	—	—	17,89%	—	2,87%	21,30%	14,89%	—	5,42%	0,36%	2,26%
512	0,50%	—	—	19,71%	—	3,10%	30,49%	20,31%	—	6,09%	0,43%	5,41%
1024	0,52%	—	—	20,65%	—	3,22%	35,87%	23,48%	—	6,45%	0,46%	7,69%
2048	0,52%	—	—	21,13%	—	3,28%	38,74%	25,22%	—	6,63%	0,48%	11,11%

Tabela 4.25 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Juliana com IC = 64% e IC = 99,9%

Fonte Juliana												
Erro Relativo para IC = 64%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	—	0,00%	0,00%	0,30%	—	0,05%	0,00%	3,90%	—	0,11%	0,02%	0,33%
4	—	0,00%	0,00%	0,30%	—	0,05%	0,00%	3,91%	—	0,11%	0,02%	0,33%
8	—	0,00%	0,00%	0,30%	—	0,05%	0,00%	3,91%	—	0,11%	0,02%	0,33%
16	—	0,00%	0,00%	0,31%	—	0,05%	0,00%	3,94%	—	0,11%	0,02%	0,33%
32	—	0,00%	0,00%	0,34%	—	0,06%	0,00%	4,24%	—	0,12%	0,03%	0,34%
64	—	0,00%	0,00%	0,61%	—	0,11%	0,00%	6,54%	—	0,18%	0,03%	0,41%
128	—	0,00%	0,00%	1,39%	—	0,24%	0,00%	15,48%	—	0,44%	0,08%	0,85%
256	—	0,00%	0,00%	2,10%	—	0,36%	0,00%	25,24%	—	0,71%	0,15%	1,75%
512	—	0,00%	0,00%	2,54%	—	0,42%	0,00%	31,76%	—	0,89%	0,20%	2,46%
1024	—	0,00%	0,00%	2,79%	—	0,46%	0,00%	35,42%	—	0,99%	0,22%	2,88%
2048	—	0,00%	0,00%	2,92%	—	0,48%	0,00%	37,35%	—	1,04%	0,24%	3,11%
Erro Relativo para IC = 99,9%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	—	0,00%	0,00%	0,91%	—	0,15%	0,00%	11,71%	—	0,33%	0,07%	1,00%
4	—	0,00%	0,00%	0,91%	—	0,15%	0,00%	11,73%	—	0,33%	0,07%	1,00%
8	—	0,00%	0,00%	0,91%	—	0,15%	0,00%	11,74%	—	0,33%	0,07%	1,00%
16	—	0,00%	0,00%	0,93%	—	0,15%	0,00%	11,83%	—	0,33%	0,07%	1,00%
32	—	0,00%	0,00%	1,03%	—	0,17%	0,00%	12,71%	—	0,36%	0,08%	1,02%
64	—	0,00%	0,00%	1,84%	—	0,34%	0,00%	19,62%	—	0,55%	0,10%	1,23%
128	—	0,00%	0,00%	4,16%	—	0,73%	0,00%	46,43%	—	1,31%	0,24%	2,55%
256	—	0,00%	0,01%	6,29%	—	1,07%	0,00%	75,72%	—	2,14%	0,44%	5,25%
512	—	0,00%	0,01%	7,63%	—	1,27%	0,00%	95,28%	—	2,66%	0,59%	7,37%
1024	—	0,00%	0,01%	8,37%	—	1,38%	0,00%	106,27%	—	2,96%	0,67%	8,63%
2048	—	0,00%	0,01%	8,77%	—	1,44%	0,00%	112,06%	—	3,11%	0,72%	9,32%

Tabela 4.26 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Verônica com IC = 64% e IC = 99,9%

Fonte Verônica												
Erro Relativo para IC = 64%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	—	0,01%	0,03%	0,01%	—	0,34%	0,05%	1,60%	—	0,02%	0,03%	0,04%
4	—	0,01%	0,03%	0,01%	—	0,34%	0,05%	1,62%	—	0,02%	0,04%	0,04%
8	—	0,02%	0,04%	0,01%	—	0,35%	0,05%	1,80%	—	0,02%	0,10%	0,04%
16	—	0,05%	0,10%	0,01%	—	0,46%	0,06%	3,17%	—	0,04%	0,19%	0,04%
32	—	0,07%	0,19%	0,02%	—	1,02%	0,11%	7,60%	—	0,09%	0,25%	0,07%
64	—	0,09%	0,25%	0,04%	—	1,90%	0,24%	10,80%	—	0,12%	0,28%	0,17%
128	—	0,10%	0,28%	0,04%	—	2,36%	0,35%	15,74%	—	0,14%	0,30%	0,28%
256	—	0,10%	0,30%	0,05%	—	3,19%	0,42%	16,47%	—	0,15%	0,31%	0,34%
512	—	0,11%	0,31%	0,05%	—	3,22%	0,46%	16,83%	—	0,15%	0,31%	0,38%
1024	—	0,11%	0,32%	0,05%	—	3,23%	0,48%	17,03%	—	0,15%	0,31%	0,39%
2048	—	0,11%	0,32%	0,05%	—	3,24%	0,49%	17,11%	—	0,15%	0,32%	0,40%
Erro Relativo para IC = 99,9%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	—	0,03%	0,10%	0,02%	—	1,01%	0,15%	4,80%	—	0,05%	0,08%	0,12%
4	—	0,04%	0,10%	0,02%	—	1,02%	0,15%	4,85%	—	0,05%	0,12%	0,12%
8	—	0,06%	0,13%	0,02%	—	1,06%	0,15%	5,39%	—	0,06%	0,31%	0,12%
16	—	0,14%	0,30%	0,03%	—	1,37%	0,17%	9,51%	—	0,13%	0,56%	0,13%
32	—	0,22%	0,56%	0,07%	—	3,05%	0,32%	22,79%	—	0,26%	0,74%	0,22%
64	—	0,27%	0,75%	0,11%	—	5,70%	0,71%	32,40%	—	0,35%	0,84%	0,52%
128	—	0,30%	0,85%	0,13%	—	7,07%	1,06%	47,21%	—	0,41%	0,89%	0,83%
256	—	0,31%	0,91%	0,15%	—	9,56%	1,27%	49,41%	—	0,44%	0,92%	1,02%
512	—	0,32%	0,94%	0,15%	—	9,66%	1,39%	50,50%	—	0,45%	0,93%	1,13%
1024	—	0,32%	0,95%	0,16%	—	9,70%	1,45%	51,09%	—	0,46%	0,94%	1,18%
2048	—	0,32%	0,96%	0,16%	—	9,73%	1,48%	51,33%	—	0,46%	0,95%	1,21%

Tabela 4.27 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Água Santa com IC = 64% e IC = 99,9%

Fonte Água Santa												
Erro Relativo para IC = 64%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	1,19%	—	—	0,12%	—	0,23%	0,05%	1,53%	—	0,03%	0,06%	0,29%
4	1,19%	—	—	0,12%	—	0,23%	0,05%	1,87%	—	0,03%	0,08%	0,29%
8	1,22%	—	—	0,11%	—	0,24%	0,05%	2,54%	—	0,05%	0,13%	0,29%
16	1,43%	—	—	0,14%	—	0,30%	0,05%	3,89%	—	0,07%	0,21%	0,29%
32	2,88%	—	—	0,12%	—	0,68%	0,05%	6,48%	—	0,12%	0,33%	0,29%
64	6,08%	—	—	0,12%	—	1,30%	0,06%	10,37%	—	0,18%	0,39%	0,30%
128	8,67%	—	—	0,16%	—	1,75%	0,10%	14,71%	—	0,20%	0,41%	0,32%
256	10,23%	—	—	0,36%	—	2,02%	0,23%	16,70%	—	0,20%	0,41%	0,54%
512	11,08%	—	—	0,68%	—	2,16%	0,34%	17,09%	—	0,21%	0,41%	1,22%
1024	11,52%	—	—	0,91%	—	2,23%	0,41%	17,09%	—	0,21%	0,42%	1,88%
2048	11,74%	—	—	1,04%	—	2,27%	0,45%	17,09%	—	0,21%	0,41%	2,28%
Erro Relativo para IC = 99,9%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	3,57%	—	—	0,35%	—	0,69%	0,15%	4,60%	—	0,08%	0,18%	0,88%
4	3,58%	—	—	0,35%	—	0,69%	0,15%	5,62%	—	0,10%	0,25%	0,88%
8	3,66%	—	—	0,32%	—	0,72%	0,15%	7,63%	—	0,14%	0,39%	0,88%
16	4,30%	—	—	0,42%	—	0,91%	0,15%	11,68%	—	0,22%	0,64%	0,88%
32	8,64%	—	—	0,36%	—	2,05%	0,15%	19,45%	—	0,37%	0,99%	0,88%
64	18,25%	—	—	0,37%	—	3,89%	0,17%	31,10%	—	0,53%	1,17%	0,89%
128	26,02%	—	—	0,48%	—	5,26%	0,30%	44,13%	—	0,60%	1,22%	0,97%
256	30,69%	—	—	1,08%	—	6,06%	0,68%	50,09%	—	0,61%	1,23%	1,62%
512	33,23%	—	—	2,04%	—	6,49%	1,02%	51,28%	—	0,62%	1,24%	3,67%
1024	34,56%	—	—	2,73%	—	6,69%	1,22%	51,28%	—	0,62%	1,26%	5,64%
2048	35,23%	—	—	3,13%	—	6,81%	1,34%	51,28%	—	0,62%	1,22%	6,84%

Tabela 4.28 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Ycuara com IC = 64% e IC = 99,9%

Fonte Ycuara												
Erro Relativo para IC = 64%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	0,02%	—	—	0,06%	—	0,48%	0,04%	0,22%	—	0,25%	0,02%	0,11%
4	0,02%	—	—	0,06%	—	0,48%	0,04%	0,22%	—	0,25%	0,02%	0,11%
8	0,02%	—	—	0,06%	—	0,48%	0,04%	0,22%	—	0,25%	0,02%	0,11%
16	0,02%	—	—	0,06%	—	0,48%	0,04%	0,23%	—	0,25%	0,02%	0,11%
32	0,03%	—	—	0,06%	—	0,48%	0,04%	0,35%	—	0,28%	0,03%	0,11%
64	0,07%	—	—	0,12%	—	0,51%	0,07%	0,83%	—	0,48%	0,06%	0,13%
128	0,10%	—	—	0,26%	—	0,72%	0,16%	1,43%	—	1,10%	0,12%	0,24%
256	0,13%	—	—	0,39%	—	1,69%	0,27%	1,83%	—	1,69%	0,17%	0,51%
512	0,15%	—	—	0,47%	—	2,90%	0,34%	2,06%	—	2,06%	0,18%	0,76%
1024	0,15%	—	—	0,51%	—	3,72%	0,38%	2,18%	—	2,26%	0,22%	0,92%
2048	0,16%	—	—	0,53%	—	4,17%	0,40%	2,25%	—	2,36%	0,21%	1,00%
Erro Relativo para IC = 99,9%												
Intervalo (Dias)	Alcalinidade	Alcalinidade bicarbonato	Alcalinidade Carbonato	Ca	CaCO ₃	Cl	CE	F	Li	Mg	pH	Na
2	0,05%	—	—	0,17%	—	1,43%	0,12%	0,65%	—	0,74%	0,07%	0,33%
4	0,05%	—	—	0,17%	—	1,43%	0,12%	0,65%	—	0,74%	0,07%	0,33%
8	0,05%	—	—	0,17%	—	1,43%	0,12%	0,66%	—	0,74%	0,07%	0,33%
16	0,05%	—	—	0,17%	—	1,43%	0,13%	0,70%	—	0,75%	0,07%	0,33%
32	0,08%	—	—	0,19%	—	1,44%	0,13%	1,04%	—	0,83%	0,09%	0,34%
64	0,20%	—	—	0,35%	—	1,52%	0,20%	2,48%	—	1,43%	0,19%	0,39%
128	0,31%	—	—	0,79%	—	2,16%	0,48%	4,28%	—	3,30%	0,36%	0,72%
256	0,39%	—	—	1,17%	—	5,07%	0,80%	5,50%	—	5,08%	0,50%	1,53%
512	0,44%	—	—	1,40%	—	8,71%	1,01%	6,19%	—	6,18%	0,55%	2,29%
1024	0,46%	—	—	1,53%	—	11,15%	1,13%	6,55%	—	6,78%	0,67%	2,75%
2048	0,47%	—	—	1,60%	—	12,52%	1,19%	6,74%	—	7,09%	0,64%	3,00%

Tabela 4.29 – Erro relativo do fluoreto para as 8 fontes com IC = 64% e IC = 99,9%

Erro Relativo IC = 64%								
Intervalo Dias	Fonte Sonja	Fonte Santo Antonio	Fonte Santa Lúcia	Fonte Juliana	Fonte Verônica	Fonte Água Santa	Fonte Primavera	Fonte Ycuara
2	3,81%	3,42%	0,34%	3,90%	1,60%	1,53%	0,74%	0,22%
4	3,80%	3,47%	0,34%	3,91%	1,62%	1,87%	0,75%	0,22%
8	3,80%	3,76%	0,34%	3,91%	1,80%	2,54%	0,74%	0,22%
16	3,80%	6,15%	0,35%	3,94%	3,17%	3,89%	0,75%	0,23%
32	3,84%	14,40%	0,48%	4,24%	7,60%	6,48%	0,77%	0,35%
64	4,13%	22,78%	1,14%	6,54%	10,80%	10,37%	1,03%	0,83%
128	6,38%	28,02%	2,07%	15,48%	15,74%	14,71%	2,48%	1,43%
256	15,14%	30,91%	2,72%	25,24%	16,47%	16,70%	4,96%	1,83%
512	24,79%	32,43%	3,08%	31,76%	16,83%	17,09%	6,77%	2,06%
1024	30,93%	33,18%	3,29%	35,42%	17,03%	17,09%	7,83%	2,18%
2048	34,35%	33,59%	3,37%	37,35%	17,11%	17,09%	8,41%	2,25%
Erro Relativo IC = 99,9%								
Intervalo Dias	Fonte Sonja	Fonte Santo Antonio	Fonte Santa Lúcia	Fonte Juliana	Fonte Verônica	Fonte Água Santa	Fonte Primavera	Fonte Ycuara
2	11,43%	10,26%	1,01%	11,71%	4,80%	4,60%	2,21%	0,65%
4	11,41%	10,40%	1,03%	11,73%	4,85%	5,62%	2,25%	0,65%
8	11,39%	11,29%	1,01%	11,74%	5,39%	7,63%	2,21%	0,66%
16	11,39%	18,44%	1,05%	11,83%	9,51%	11,68%	2,25%	0,70%
32	11,52%	43,19%	1,45%	12,71%	22,79%	19,45%	2,32%	1,04%
64	12,38%	68,34%	3,41%	19,62%	32,40%	31,10%	3,08%	2,48%
128	19,15%	84,07%	6,21%	46,43%	47,21%	44,13%	7,45%	4,28%
256	45,43%	92,72%	8,16%	75,72%	49,41%	50,09%	14,89%	5,50%
512	74,38%	97,30%	9,25%	95,28%	50,50%	51,28%	20,31%	6,19%
1024	92,80%	99,55%	9,86%	106,27%	51,09%	51,28%	23,48%	6,55%
2048	103,05%	100,77%	10,10%	112,06%	51,33%	51,28%	25,22%	6,74%

Figura 4.10 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Santo Antonio com IC = 64% e IC = 99,9%

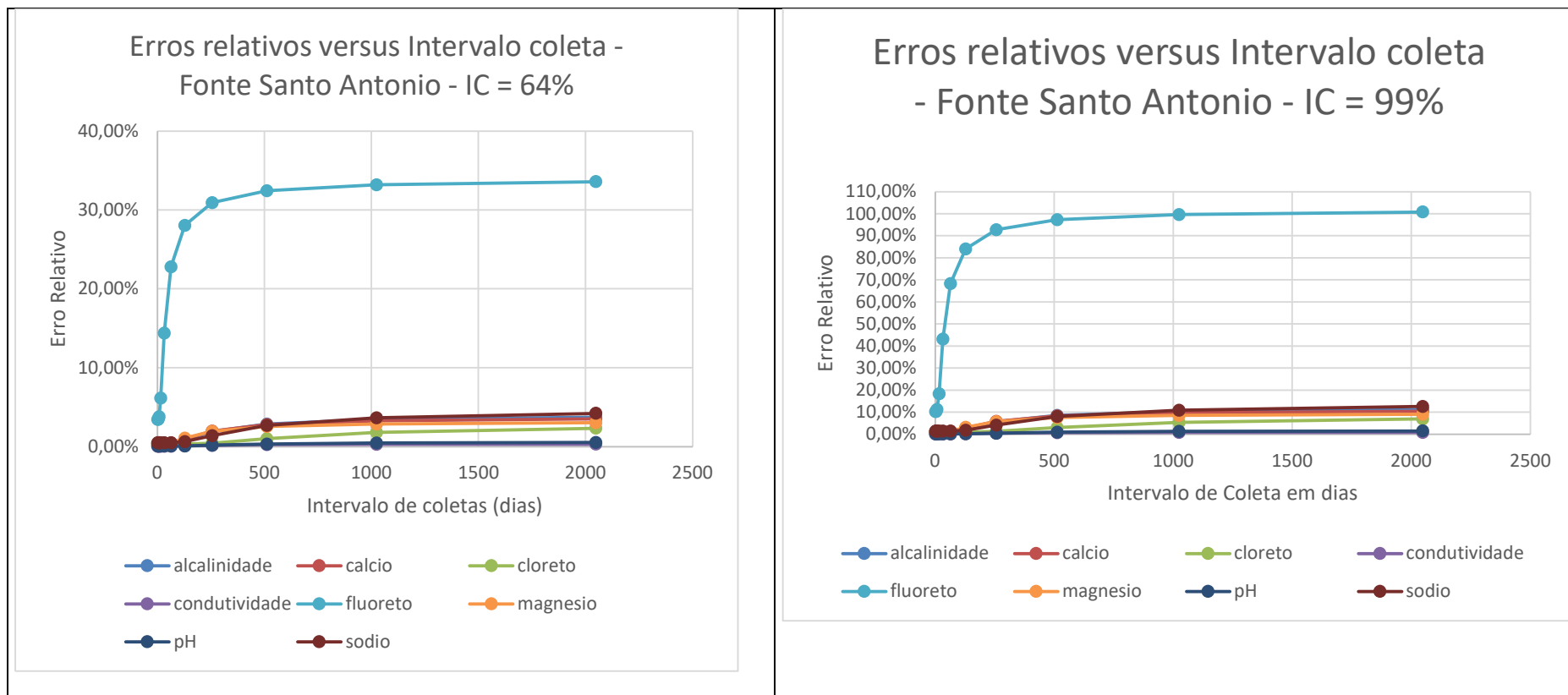


Figura 4.11 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Sonja com IC = 64% e IC = 99,9%

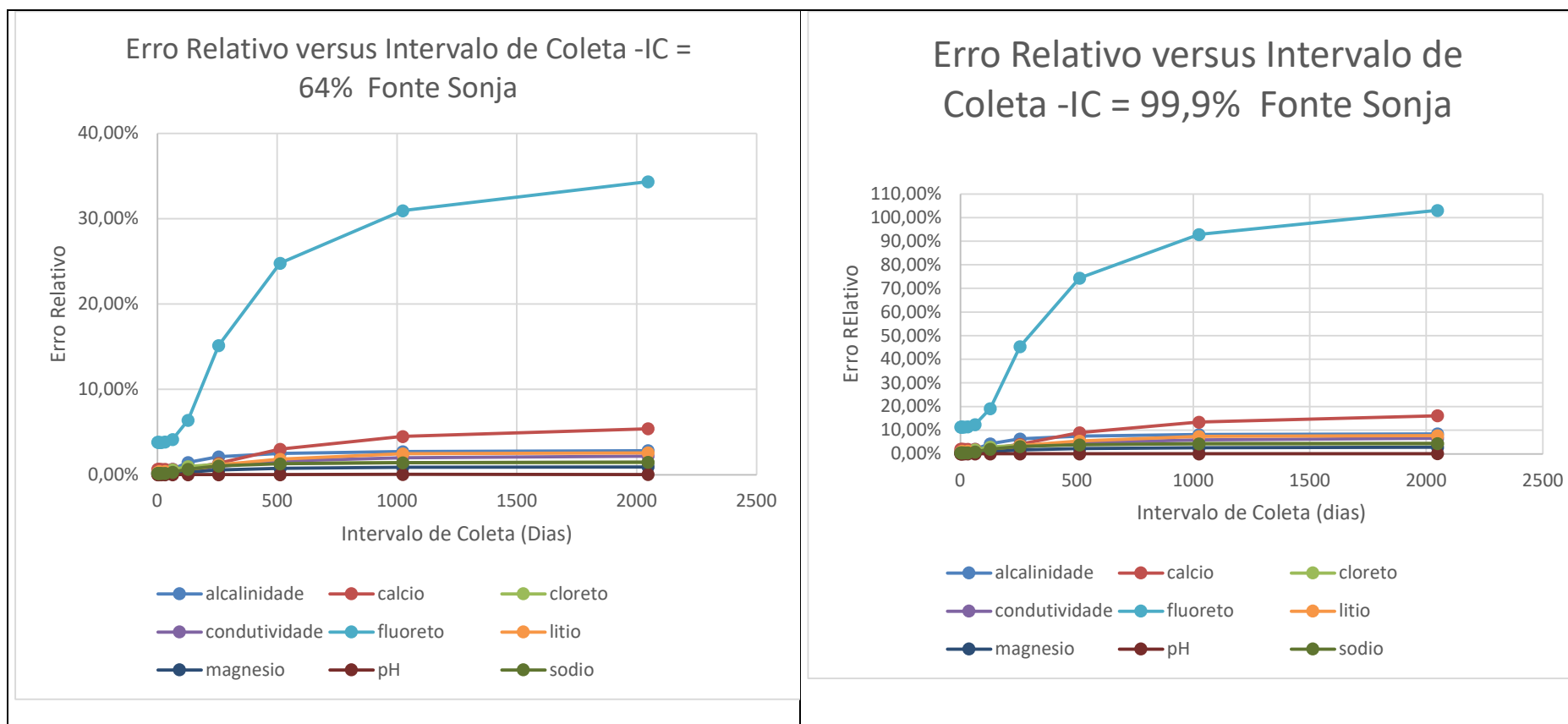


Figura 4.12 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Santa Lúcia com IC = 64% e IC = 99,9%

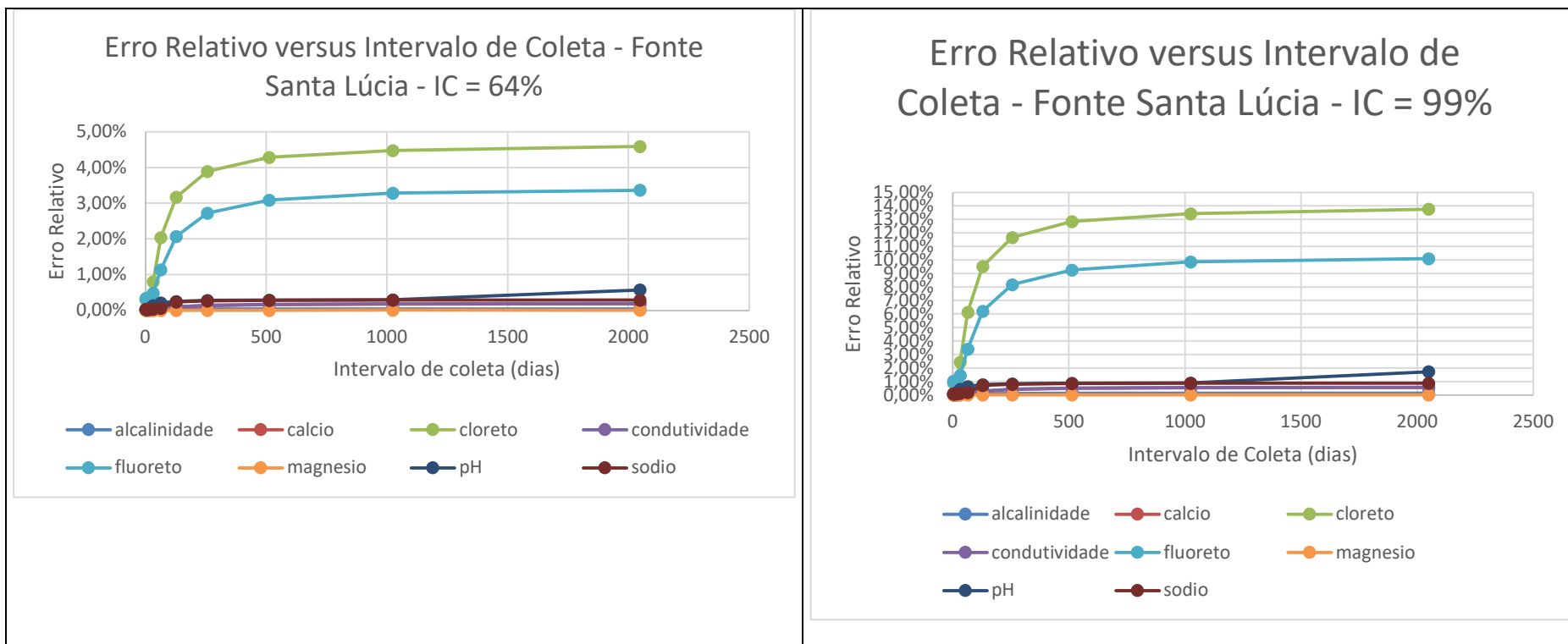


Figura 4.13 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Primavera com IC = 64% e IC = 99,9%

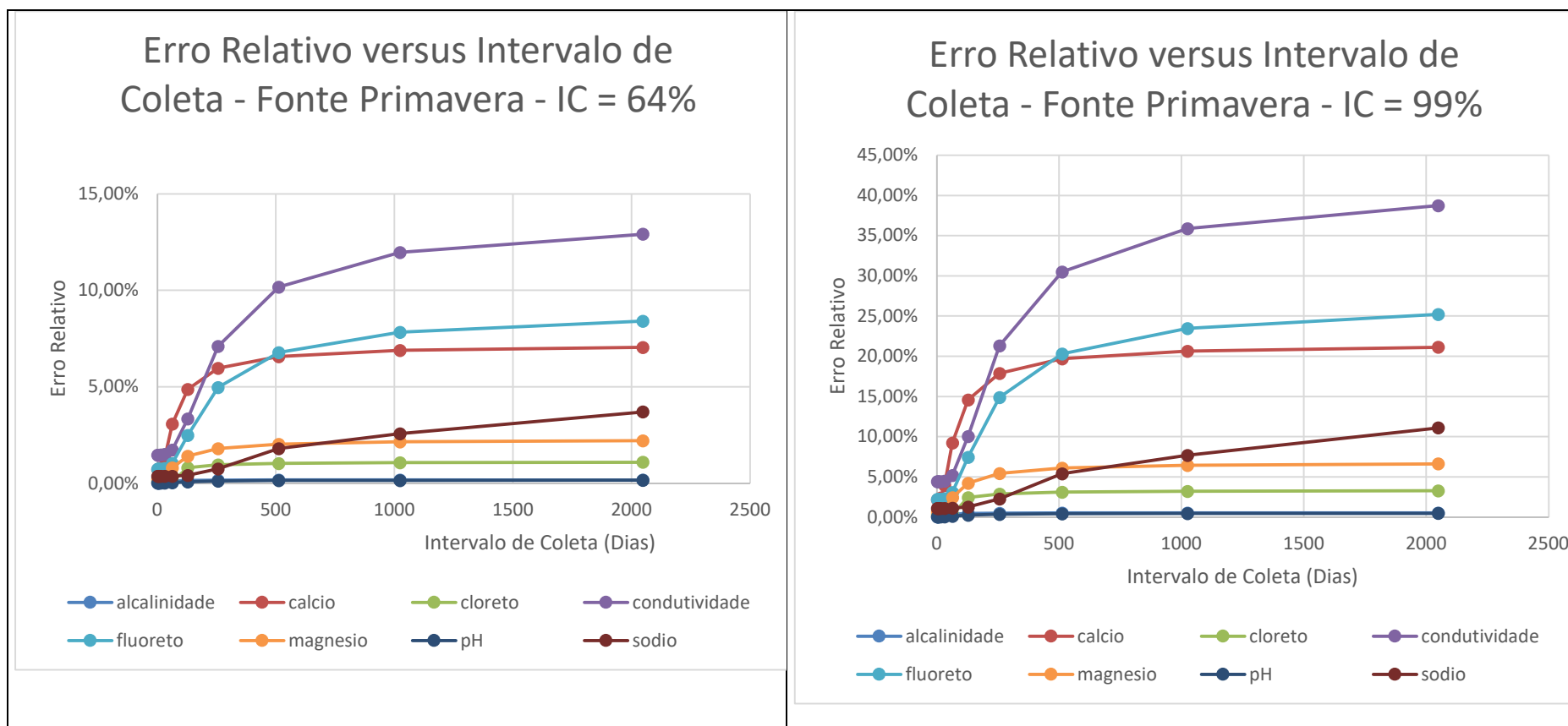


Figura 4.14– Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Juliana com IC = 64% e IC = 99,9%

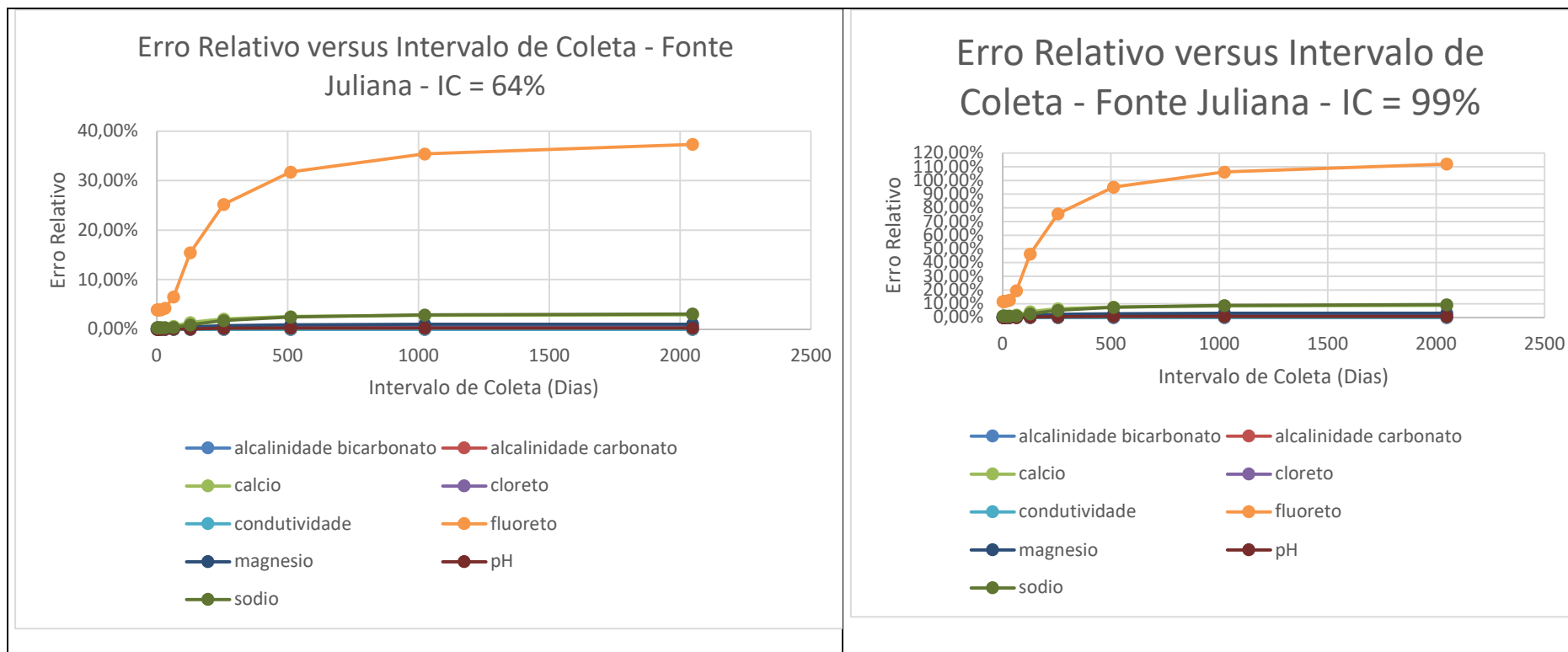


Figura 4.15 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Verônica com IC = 64% e IC = 99,9%

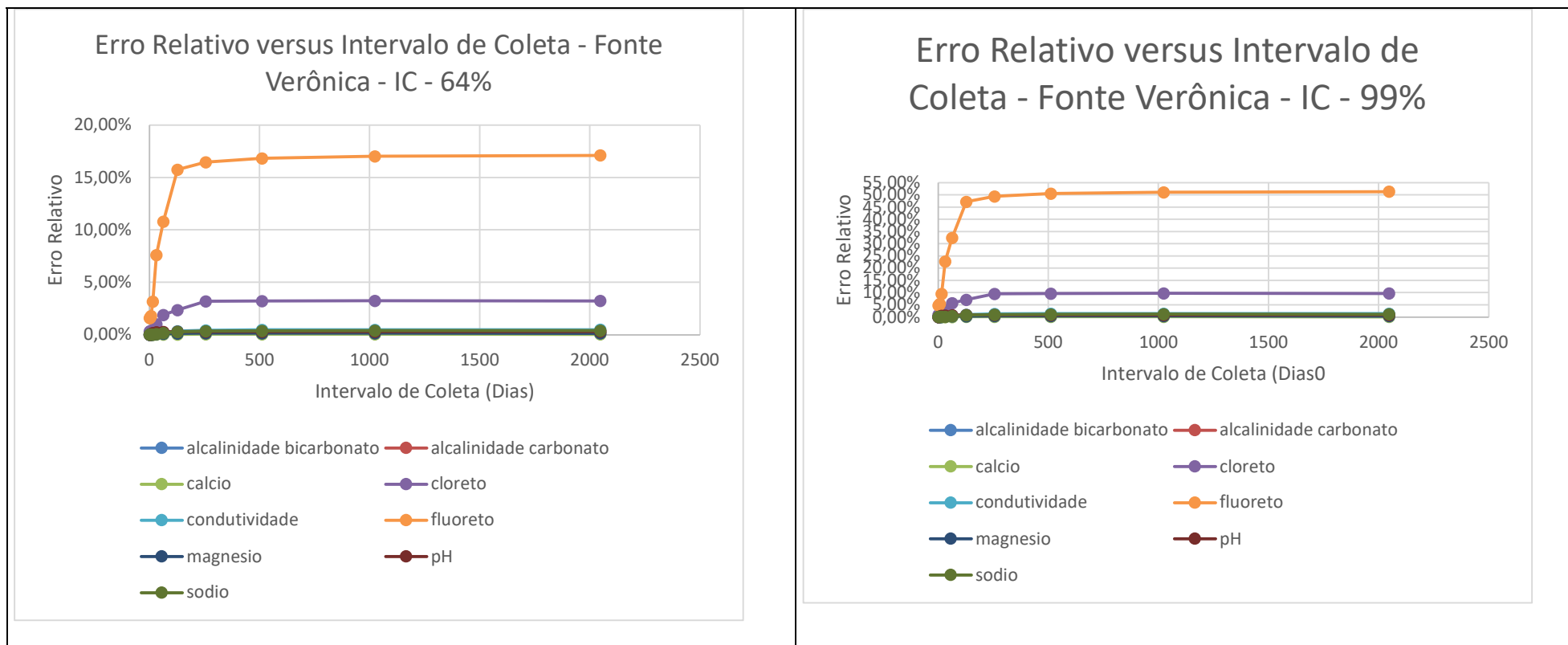


Figura 4.16 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Água Santa com IC = 64% e IC = 99,9%

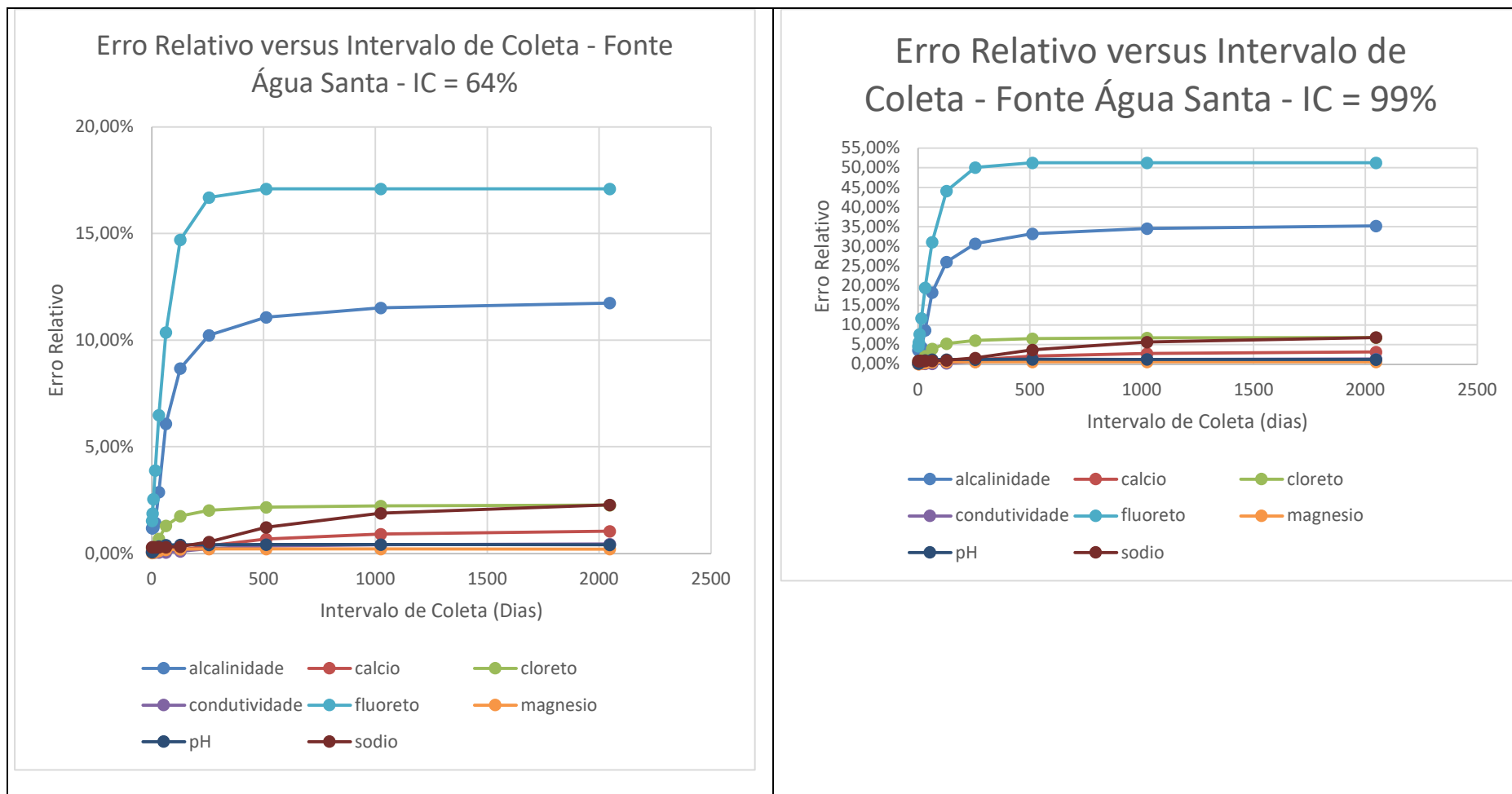


Figura 4.17 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para os parâmetros da Fonte Ycuara com IC = 64% e IC = 99,9%

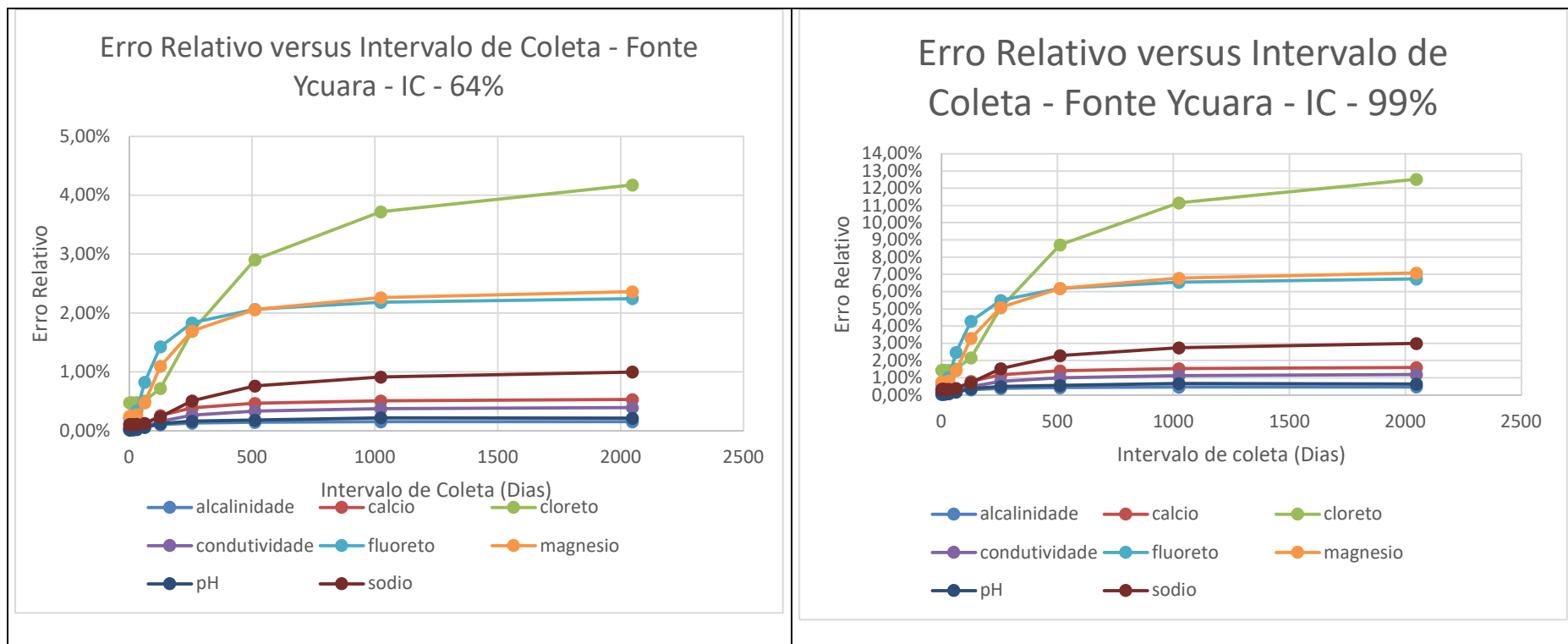
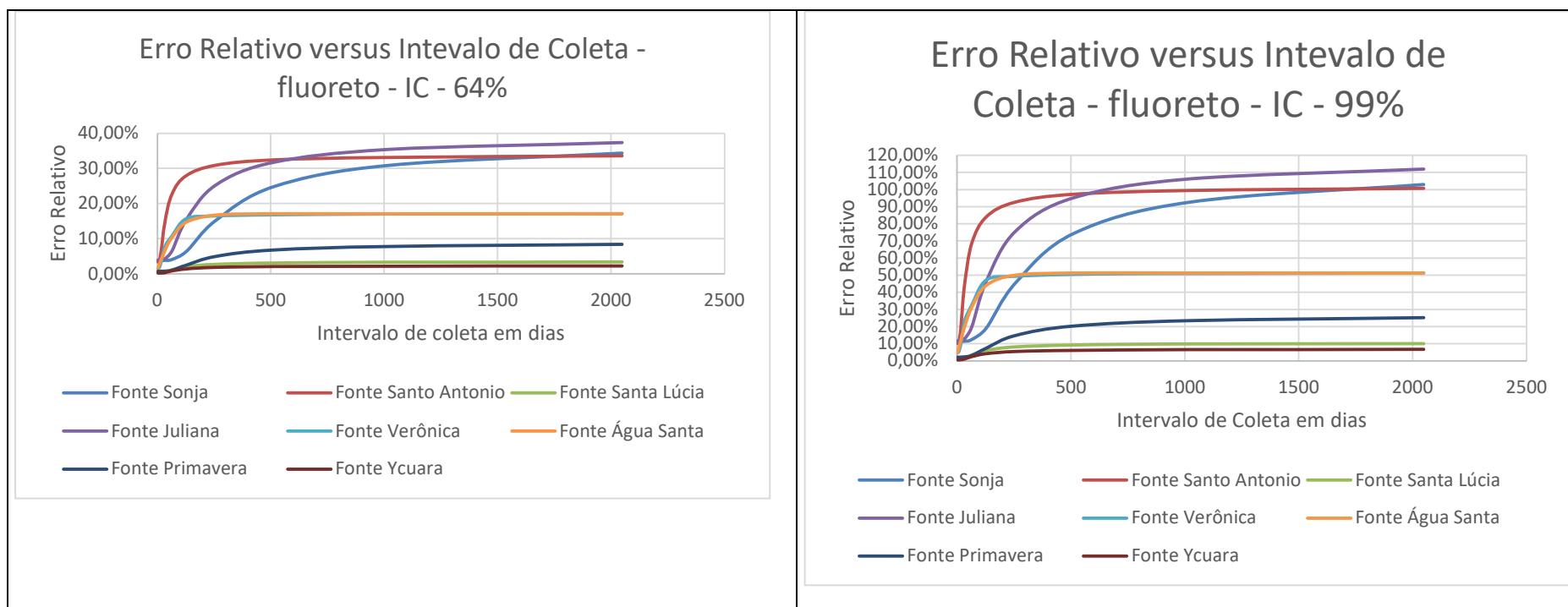


Figura 4.18 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para o fluoreto das 8 fontes analisadas com IC = 64% e IC = 99,9%



4.9 Discussões sobre os resultados do cálculo da variância de extensão para os parâmetros de qualidade de águas minerais analisados

Com base no memorial de cálculo da variância de extensão que se encontra no item D do anexo desta tese foi possível tomar a decisão prévia de qual seria o melhor intervalo de amostragem para os parâmetros químicos e físico-químicos das oito fontes analisados.

Conforme mostram as tabelas 4.21 a 4.28 os maiores erros de amostragem foram para o elemento fluoreto para todas as fontes. As figuras 4.10 a 4.17 mostram que para cada fonte em questão os teores de fluoreto apresentaram maiores de erros de amostragem em relação aos intervalos de coleta para os níveis de confiança utilizados.

Na figura 4.18 encontram-se plotados os dados dos teores de fluoreto para as oito fontes que são objetos de estudo desta tese.

Após a constatação de que o fluoreto era o elemento crítico nesse processo de amostragem, foram analisados os resultados do memorial de cálculo da variância de extensão que se encontram no item D dos anexos dessa tese.

Buscou-se analisar se o valor mínimo do fluoreto e o valor máximo do fluoreto obtidos no memorial de cálculo.

Para nenhuma das fontes amostradas, o valor máximo obtido excedeu o valor máximo permitido na legislação vigente que é de 1,5 mg/L, para os dois intervalos de confiança que foram realizados os cálculos.

Houve problemas com relação ao valor mínimo permitido para o fluoreto para algumas fontes. Em 128 dias, para a Fonte Santo Antonio, o teor de fluoreto atingiu o valor igual a zero, conforme mostra a tabela D.1. Para a Fonte Sonja, o teor de fluoreto será igual a zero, quando o intervalo de coleta for igual a $t = 2048$ dias, conforme mostra a tabela D.2.

A Fonte Santa Lúcia não tem esse problema conforme é possível ver na tabela D.3. Nem tampouco a Fonte Primavera terá o teor de fluoreto zerado, conforme mostra a tabela D.4.

Para a Fonte Juliana, em $t = 1024$ dias, o teor de fluoreto na água assumirá um valor menor que zero. Conforme mostra a tabela D.5. A presença do valor negativo para o teor indica erro de amostragem.

A Fonte Verônica não apresentou o teor mínimo de fluoreto menor que os limites de detecção conforme é possível na tabela D.6.

A Fonte Água Santa e a Fonte Ycuara também não apresentaram os teores mínimos de fluoreto menores que os limites de detecção, conforme pode ser visto nas tabelas D.7 e D.8 respectivamente.

A análise dos resultados obtidos com base nos cálculos de variância de extensão e sua comparação com os valores mínimos e máximos das médias obtidas para o fluoreto com os valores

determinados na legislação vigente, leva a escolher previamente que o intervalo de coleta mínimo deverá ser igual a 128 dias (aproximadamente 4 meses) para as oito fontes analisadas.

Ainda serão realizados nos itens a seguir, outros cálculos com base na presença e ausência de duplicatas e para análise da heterogeneidade de alguns parâmetros para podermos nos certificar de que o intervalo de coleta de 4 meses para os parâmetros de qualidade das águas minerais é o intervalo mais correto do ponto de vista científico com base nos fundamentos estatísticos que serviram de alicerce para a metodologia aplicada nesta tese.

4.10 Variância de extensão para as fontes em que foram removidas as duplicatas

Para se estudar o efeito da presença e ausência das duplicatas sobre a variância de extensão, decidiu-se remover as duplicatas das amostras das seguintes fontes: Fonte Sonja, fonte Santo Antonio e Fonte Verônica.

O memorial de cálculo da variância de extensão para três fontes mencionadas com a remoção das duplicatas encontra-se no item E dos anexos desta tese.

Nas tabelas 4.30 a 4.32 são feitas comparações entre os erros de amostragem quando os conjuntos de dados apresentam duplicatas e quando são removidas as duplicatas do conjunto de dados para as três fontes em questão.

Para cada parâmetro analisado é possível ver que a remoção das duplicatas causa alterações significativas no valor do erro de amostragem para cada intervalo de coleta. Por exemplo, veja que na tabela 4.30, para a Fonte Sonja, no intervalo de coleta de 2 dias, o erro relativo de amostragem para o parâmetro alcalinidade é igual a 0,29% quando conjunto de dados contém as duplicatas. Ao se removerem as duplicatas do conjunto de dados o erro de amostragem sobe para 0,32%.

Para a Fonte Santo Antonio, conforme mostrado na tabela 4.31, para o intervalo de 2 dias, também para o parâmetro alcalinidade, o erro de amostragem é igual a 0,41% quando há duplicatas no conjunto de dados. No conjunto de dados sem duplicatas, o erro de amostragem cai para 0,40% para o intervalo de coleta de 2 dias.

Para a Fonte Verônica é interessante relatar que para o intervalo de coleta de 2 dias, o erro de amostragem para o parâmetro alcalinidade bicarbonato permanece igual a 0,01% tanto para o conjunto de dados com as duplicatas como para o conjunto de dados sem as duplicatas.

Para as três fontes acima estamos nos referindo aos valores dos erros de amostragem quando o intervalo de confiança é igual a 64%.

Vamos explicar o que houve para o parâmetro alcalinidade para cada uma das três fontes em questão. Primeiramente convém reproduzir de novo aqui a fórmula do cálculo do erro de amostragem para cada intervalo, com nível de confiança igual a 64% (PITARD ,1993, p. 32):

$$s_R^2 = \frac{\sigma_{ext}^2}{(\bar{x})^2} \quad (2.29)$$

Onde:

s_R^2 = erro relativo do desvio padrão

$(\bar{x})^2$ = média da população elevado ao quadrado

σ_{ext}^2 = variância de extensão obtida

Analisando a fórmula acima, é preciso ressaltar que o erro de amostragem é diretamente proporcional à variância de extensão e inversamente proporcional à média dos dados elevada ao quadrado.

Para a Fonte Sonja, para o intervalo de dois dias, para o conjunto de dados com duplicatas, obteve-se a variância de extensão igual a $\sigma_{ext}^2 = 7,07787$; a variância do conjunto de dados é igual a $\sigma^2 = 70,87$ e a média dos dados é $\bar{x} = 49,15$. Com a remoção das duplicatas, a variância de extensão aumentou para $\sigma_{ext}^2 = 7,44807$ pois a variância total dos dados aumentou para $\sigma^2 = 74,65$. A média dos dados sem duplicatas diminuiu para $\bar{x} = 48,5$. Analisando o que foi dito no parágrafo anterior, compreende-se que com o aumento da variância de extensão e com a diminuição da média dos dados sem as duplicatas, era esperado que o erro de amostragem aumentasse para o intervalo de coleta de dois dias, para o parâmetro alcalinidade da Fonte Sonja.

Para a Fonte Santo Antonio, para o intervalo de dois dias, para o conjunto de dados com duplicatas, obteve-se a variância de extensão igual a $\sigma_{ext}^2 = 9,9199358$; a variância do conjunto de dados é igual a $\sigma^2 = 99,46$ e a média dos dados é $\bar{x} = 49,21$. Com a remoção das duplicatas, a variância de extensão aumentou para $\sigma_{ext}^2 = 9,94445$, pois a variância total dos dados aumentou para $\sigma^2 = 99,8$. Porém neste caso da Fonte Santo Antonio, a média dos dados sem duplicatas aumentou para $\bar{x} = 50,1$. Analisando o que foi dito no parágrafo anterior, compreende-se com o aumento da variância de extensão e com o aumento da média dos dados sem as duplicatas, era esperado que o erro de amostragem diminuísse para o intervalo de coleta de dois dias, para o parâmetro alcalinidade da Fonte Santo Antonio.

No caso da Fonte Verônica, para o intervalo de dois dias, para o conjunto de dados com duplicatas, obteve-se a variância de extensão igual a $\sigma_{ext}^2 = 0,01541$; a variância do conjunto de dados é igual a $\sigma^2 = 0,152$ e a média dos dados é $\bar{x} = 11,82$. Com a remoção das duplicatas, a variância de extensão aumentou para $\sigma_{ext}^2 = 0,01552$, no entanto, a variância total dos dados permaneceu igual a $\sigma^2 = 0,152$. A média dos dados sem duplicatas diminuiu para $\bar{x} = 11,82$. Analisando o que foi dito no parágrafo anterior e também analisando os dados obtidos para a Fonte Verônica, entende-se que houve um aumento muito pequeno na variância de extensão e também

houve uma diminuição muito pequena no valor da média total dos dados após a retirada das duplicatas, com isso era esperado que o erro de amostragem permanecesse igual para o intervalo de coleta de dois dias para o parâmetro alcalinidade bicarbonato da Fonte Verônica.

Não houve uma constância com relação à variação dos erros de amostragem para uma mesma fonte com relação ao crescimento do intervalo de coleta. Observando os dados da tabela 4.30, para a Fonte Sonja, quando se removeram as duplicatas, houve aumento dos erros de amostragem para os seguintes parâmetros: alcalinidade, cálcio, cloreto, condutividade, fluoreto, lítio e sódio. Para o pH, os valores dos erros de amostragem permaneceram quase constantes e para o sódio, houve diminuição dos erros de amostragem.

Os dados da Fonte Sonja com as duplicatas podem ser checados na Tabela D.2 do item D dos anexos da tese e os dados sem as duplicatas podem ser vistos na Tabela E.2 do item E. Para a Fonte Santo Antonio, os dados com as duplicatas estão na tabela D.1 do item D e os dados sem as duplicatas encontram-se na tabela E.1 no item E. Os dados da Fonte Verônica com as duplicatas estão na tabela D.6 do item D e os dados sem as duplicatas estão na tabela E.6 do item E.

Observando os dados da tabela 4.31, para a Fonte Santo Antonio, quando se removeram as duplicatas, houve aumento dos erros de amostragem para os seguintes parâmetros: cálcio, fluoreto, magnésio e sódio. Para a condutividade, os valores dos erros de amostragem permaneceram quase constantes; e para a alcalinidade, cloreto e pH, houve diminuição dos erros de amostragem.

Finalmente, ao observar os dados da tabela 4.32, para a Fonte Verônica, quando se removeram as duplicatas, houve aumento dos erros de amostragem para os seguintes parâmetros: alcalinidade bicarbonato, alcalinidade carbonato, condutividade, magnésio e sódio. Para o cálcio, os valores dos erros de amostragem permaneceram iguais; e para o cloreto, fluoreto e pH, houve diminuição dos erros de amostragem.

Com a remoção das duplicatas, o teor de fluoreto continua crítico para se determinar o melhor intervalo de coleta para as fontes. Para a Fonte Antonio, no intervalo de coleta igual a 256 dias, o teor de fluoreto será igual a zero, conforme mostra a tabela E.1. Para a Fonte Sonja, o teor de fluoreto será igual a zero no intervalo de coleta igual a 1024 dias, conforme mostra a tabela E.2. Para a Fonte Verônica, mesmo removendo-se as duplicatas, em nenhum intervalo de coleta, será atingido o teor de fluoreto igual a zero.

Para o caso da remoção das duplicatas, o melhor tempo de coleta a ser adotado é o de 256 dias, que é igual a aproximadamente oito meses.

No item anterior, onde foram usadas duplicatas, o melhor intervalo de coleta adotado foi o de 128 dias (4 meses aproximadamente). Com a remoção das duplicatas o intervalo de coleta dobrou. Analisando os dois resultados (com e sem duplicatas), optou-se pelo protocolo de amostragem em que foram utilizadas as duplicatas. Ao se usar as duplicatas é possível se obter erros de amostragem menores por intervalo de tempo, também com o maior número de amostras garante-se a maior acurácia da amostragem e a reprodutibilidade dos valores obtidos.

O teor de fluoreto da Fonte Santo Antonio foi essencial para se determinar o melhor intervalo de coleta na amostragem com o uso de duplicatas e sem o uso de duplicatas. Basear-se-á

neste fato para se realizar a análise da heterogeneidade das fontes de água mineral usando a Teoria de Amostragem de Pierre Gy no próximo item.

Tabela 4.30– Erro relativo dos parâmetros da Fonte Sonja com IC = 64% e IC = 99,9% - com e sem a presença de duplicatas

Fonte Sonja									
Com Duplicatas									
Erro Relativo IC = 64%									
Interv.Dias	alcalinidade	calcio	cloreto	condutividade	fluoreto	lítio	magnésio	pH	Sódio
2	0,29%	0,64%	0,15%	0,24%	3,81%	0,26%	0,10%	0,00%	0,16%
4	0,29%	0,64%	0,15%	0,24%	3,80%	0,13%	0,10%	0,00%	0,16%
8	0,29%	0,64%	0,15%	0,24%	3,80%	0,39%	0,10%	0,00%	0,16%
16	0,30%	0,65%	0,16%	0,24%	3,80%	0,26%	0,10%	0,00%	0,16%
32	0,34%	0,65%	0,25%	0,24%	3,84%	0,39%	0,10%	0,00%	0,17%
64	0,65%	0,66%	0,59%	0,26%	4,13%	0,26%	0,13%	0,00%	0,28%
128	1,43%	0,73%	0,96%	0,41%	6,38%	0,39%	0,29%	0,01%	0,66%
256	2,09%	1,33%	1,20%	0,97%	15,14%	1,16%	0,56%	0,01%	1,04%
512	2,50%	2,99%	1,34%	1,58%	24,79%	1,81%	0,75%	0,02%	1,27%
1024	2,72%	4,49%	1,41%	1,97%	30,93%	2,45%	0,87%	0,03%	1,40%
2048	2,83%	5,39%	1,45%	2,19%	34,35%	2,58%	0,93%	0,03%	1,47%
Sem Duplicatas									
Erro Relativo IC = 64%									
Interv.Dias	alcalinidade	calcio	cloreto	condutividade	fluoreto	lítio	magnésio	pH	Sódio
2	0,32%	0,72%	0,18%	0,26%	4,46%	0,41%	0,11%	0,00%	0,13%
4	0,32%	0,76%	0,18%	0,26%	4,44%	0,41%	0,11%	0,00%	0,13%
8	0,32%	0,85%	0,18%	0,26%	4,45%	0,27%	0,11%	0,00%	0,13%
16	0,32%	1,03%	0,20%	0,27%	4,45%	0,27%	0,11%	0,00%	0,13%
32	0,34%	1,38%	0,35%	0,32%	4,51%	0,41%	0,12%	0,00%	0,15%
64	0,52%	2,07%	0,79%	0,67%	4,99%	0,55%	0,16%	0,00%	0,26%
128	1,23%	3,28%	1,21%	1,38%	8,68%	1,23%	0,38%	0,01%	0,58%
256	2,05%	4,65%	1,47%	1,93%	19,92%	2,33%	0,67%	0,02%	0,88%
512	2,58%	5,58%	1,60%	2,26%	30,41%	2,61%	0,86%	0,02%	1,07%
1024	2,88%	6,10%	1,67%	2,43%	36,88%	3,02%	0,97%	0,02%	1,17%
2048	3,03%	6,37%	1,71%	2,52%	40,40%	3,29%	1,03%	0,02%	1,22%
Fonte Sonja									
Com Duplicatas									
Erro Relativo IC = 99,9%									
Interv.Dias	alcalinidade	calcio	cloreto	condutividade	fluoreto	lítio	magnésio	pH	Sódio
2	0,88%	1,93%	0,45%	0,73%	11,43%	0,77%	0,30%	0,01%	0,47%
4	0,88%	1,93%	0,45%	0,72%	11,41%	0,39%	0,30%	0,01%	0,47%
8	0,88%	1,93%	0,45%	0,72%	11,39%	1,16%	0,30%	0,01%	0,47%
16	0,90%	1,94%	0,48%	0,72%	11,39%	0,77%	0,30%	0,01%	0,47%

32	1,03%	1,94%	0,74%	0,73%	11,52%	1,16%	0,31%	0,01%	0,51%
64	1,96%	1,97%	1,76%	0,79%	12,38%	0,77%	0,39%	0,01%	0,85%
128	4,29%	2,20%	2,88%	1,24%	19,15%	1,16%	0,88%	0,02%	1,98%
256	6,28%	3,99%	3,61%	2,92%	45,43%	3,48%	1,69%	0,04%	3,11%
512	7,49%	8,97%	4,02%	4,75%	74,38%	5,42%	2,26%	0,07%	3,82%
1024	8,15%	13,46%	4,23%	5,91%	92,80%	7,35%	2,60%	0,08%	4,21%
2048	8,50%	16,18%	4,34%	6,57%	103,05%	7,74%	2,78%	0,09%	4,42%
Sem Duplicatas									
Erro Relativo IC = 99,9%									
Interv.Dias	alcalinidade	calcio	cloreto	condutividade	fluoreto	lítio	magnésio	pH	sódio
2	0,95%	2,15%	0,53%	0,79%	13,38%	1,23%	0,33%	0,01%	0,38%
4	0,95%	2,29%	0,53%	0,79%	13,31%	1,23%	0,33%	0,01%	0,38%
8	0,95%	2,55%	0,53%	0,79%	13,35%	0,82%	0,33%	0,01%	0,39%
16	0,96%	3,09%	0,59%	0,81%	13,35%	0,82%	0,33%	0,01%	0,39%
32	1,03%	4,15%	1,04%	0,96%	13,52%	1,23%	0,35%	0,01%	0,44%
64	1,56%	6,21%	2,38%	2,00%	14,96%	1,65%	0,48%	0,01%	0,77%
128	3,70%	9,83%	3,64%	4,13%	26,04%	3,70%	1,13%	0,03%	1,75%
256	6,14%	13,95%	4,40%	5,79%	59,75%	7,00%	2,00%	0,05%	2,65%
512	7,75%	16,73%	4,81%	6,77%	91,23%	7,82%	2,59%	0,06%	3,21%
1024	8,63%	18,29%	5,02%	7,29%	110,63%	9,05%	2,92%	0,06%	3,51%
2048	9,08%	19,11%	5,13%	7,56%	121,19%	9,88%	3,10%	0,06%	3,67%

Tabela 4.31 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Santo Antonio com IC = 64% e IC = 99,9% - com e sem a presença de duplicatas

Fonte Santo Antonio								
Com duplicatas								
Erro Relativo IC = 64%								
Interv.Dias	alcalinidade	calcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnésio	pH	Sódio
2	0,41%	0,38%	0,29%	0,03%	3,42%	0,32%	0,07%	0,47%
4	0,41%	0,38%	0,29%	0,03%	3,47%	0,32%	0,07%	0,47%
8	0,41%	0,38%	0,29%	0,03%	3,76%	0,32%	0,07%	0,47%
16	0,41%	0,38%	0,29%	0,03%	6,15%	0,33%	0,07%	0,47%
32	0,42%	0,39%	0,29%	0,03%	14,40%	0,34%	0,07%	0,47%
64	0,46%	0,46%	0,30%	0,04%	22,78%	0,46%	0,07%	0,49%
128	0,82%	0,95%	0,31%	0,07%	28,02%	1,07%	0,08%	0,62%
256	1,88%	1,98%	0,43%	0,16%	30,91%	1,94%	0,17%	1,38%
512	2,84%	2,80%	1,01%	0,23%	32,43%	2,53%	0,33%	2,68%
1024	3,43%	3,26%	1,79%	0,28%	33,18%	2,86%	0,45%	3,65%
2048	3,74%	3,51%	2,33%	0,30%	33,59%	3,04%	0,52%	4,21%
Sem duplicatas								
Erro Relativo IC = 64%								

Interv.Dias	alcalinidade	calcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnesio	pH	sódio
2	0,40%	0,39%	0,27%	0,03%	3,65%	0,33%	0,06%	0,58%
4	0,40%	0,39%	0,27%	0,03%	3,95%	0,33%	0,06%	0,63%
8	0,40%	0,39%	0,27%	0,03%	6,46%	0,33%	0,06%	0,73%
16	0,40%	0,40%	0,27%	0,03%	15,05%	0,33%	0,06%	0,93%
32	0,41%	0,42%	0,28%	0,04%	23,95%	0,35%	0,06%	1,33%
64	0,48%	0,57%	0,29%	0,05%	29,58%	0,48%	0,07%	2,08%
128	0,96%	1,34%	0,43%	0,13%	32,73%	1,13%	0,10%	3,18%
256	2,05%	2,39%	1,02%	0,22%	34,38%	2,01%	0,23%	4,10%
512	2,89%	3,12%	1,73%	0,28%	35,24%	2,60%	0,39%	4,64%
1024	3,39%	3,54%	2,21%	0,31%	35,65%	2,94%	0,50%	4,94%
2048	3,66%	3,75%	2,46%	0,33%	35,88%	3,11%	0,56%	5,09%
Fonte Santo Antonio								
Com duplicatas								
Erro Relativo IC = 99,9%								
Interv.Dias	alcalinidade	calcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnesio	pH	Sódio
2	1,23%	1,14%	0,88%	0,10%	10,26%	0,97%	0,20%	1,41%
4	1,23%	1,13%	0,88%	0,10%	10,40%	0,97%	0,20%	1,41%
8	1,23%	1,13%	0,88%	0,10%	11,29%	0,97%	0,20%	1,41%
16	1,23%	1,14%	0,88%	0,10%	18,44%	0,98%	0,20%	1,41%
32	1,25%	1,17%	0,88%	0,10%	43,19%	1,02%	0,20%	1,42%
64	1,39%	1,39%	0,89%	0,11%	68,34%	1,38%	0,21%	1,46%
128	2,47%	2,84%	0,93%	0,21%	84,07%	3,21%	0,24%	1,85%
256	5,64%	5,93%	1,30%	0,47%	92,72%	5,81%	0,50%	4,14%
512	8,52%	8,39%	3,04%	0,69%	97,30%	7,58%	0,98%	8,04%
1024	10,28%	9,78%	5,38%	0,83%	99,55%	8,59%	1,35%	10,96%
2048	11,22%	10,53%	6,98%	0,90%	100,77%	9,12%	1,56%	12,63%
Sem duplicatas								
Erro Relativo IC = 99,9%								
Interv.Dias	alcalinidade	calcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnesio	pH	sódio
2	1,19%	1,18%	0,82%	0,10%	10,95%	0,99%	0,19%	1,74%
4	1,19%	1,18%	0,82%	0,10%	11,85%	0,99%	0,19%	1,89%
8	1,19%	1,18%	0,82%	0,10%	19,38%	0,99%	0,19%	2,20%
16	1,19%	1,19%	0,82%	0,10%	45,15%	1,00%	0,19%	2,80%
32	1,22%	1,25%	0,83%	0,11%	71,85%	1,05%	0,19%	4,00%
64	1,43%	1,72%	0,88%	0,16%	88,74%	1,44%	0,20%	6,24%
128	2,88%	4,01%	1,29%	0,38%	98,19%	3,40%	0,29%	9,55%
256	6,14%	7,16%	3,06%	0,65%	103,14%	6,03%	0,70%	12,29%
512	8,68%	9,36%	5,19%	0,83%	105,72%	7,81%	1,18%	13,93%
1024	10,17%	10,61%	6,62%	0,93%	106,95%	8,81%	1,50%	14,82%
2048	10,97%	11,26%	7,39%	0,98%	107,64%	9,34%	1,68%	15,28%

Tabela 4.32 – Erro relativo dos parâmetros da Fonte Verônica com IC = 64% e IC = 99,9% - com e sem a presença de duplicatas

Fonte Verônica									
Com duplicatas									
Erro Relativo IC = 64%									
Interv.Dias	alcalinidade bicarbonato	alcalinidade carbonato	calcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnésio	pH	sódio
2	0,01%	0,03%	0,01%	0,34%	0,05%	1,60%	0,02%	0,03%	0,04%
4	0,01%	0,03%	0,01%	0,34%	0,05%	1,62%	0,02%	0,04%	0,04%
8	0,02%	0,04%	0,01%	0,35%	0,05%	1,80%	0,02%	0,10%	0,04%
16	0,05%	0,10%	0,01%	0,46%	0,06%	3,17%	0,04%	0,19%	0,04%
32	0,07%	0,19%	0,02%	1,02%	0,11%	7,60%	0,09%	0,25%	0,07%
64	0,09%	0,25%	0,04%	1,90%	0,24%	10,80%	0,12%	0,28%	0,17%
128	0,10%	0,28%	0,04%	2,36%	0,35%	15,74%	0,14%	0,30%	0,28%
256	0,10%	0,30%	0,05%	3,19%	0,42%	16,47%	0,15%	0,31%	0,34%
512	0,11%	0,31%	0,05%	3,22%	0,46%	16,83%	0,15%	0,31%	0,38%
1024	0,11%	0,32%	0,05%	3,23%	0,48%	17,03%	0,15%	0,31%	0,39%
2048	0,11%	0,32%	0,05%	3,24%	0,49%	17,11%	0,15%	0,32%	0,40%
Sem duplicatas									
Erro Relativo IC = 64%									
Interv.Dias	alcalinidade bicarbonato	alcalinidade carbonato	calcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnésio	pH	sódio
2	0,01%	0,04%	0,01%	0,31%	0,05%	0,09%	0,02%	0,02%	0,04%
4	0,01%	0,05%	0,01%	0,33%	0,06%	0,11%	0,02%	0,04%	0,04%
8	0,03%	0,12%	0,01%	0,48%	0,07%	0,13%	0,04%	0,10%	0,05%
16	0,06%	0,23%	0,02%	1,18%	0,14%	0,29%	0,08%	0,15%	0,05%
32	0,08%	0,31%	0,03%	2,08%	0,26%	0,55%	0,12%	0,18%	0,10%
64	0,09%	0,36%	0,04%	2,70%	0,33%	0,75%	0,14%	0,20%	0,22%
128	0,10%	0,39%	0,05%	3,06%	0,38%	0,87%	0,16%	0,21%	0,32%
256	0,10%	0,40%	0,05%	3,25%	0,40%	0,93%	0,16%	0,22%	0,38%
512	0,11%	0,41%	0,05%	3,35%	0,41%	0,96%	0,17%	0,22%	0,41%
1024	0,11%	0,41%	0,05%	3,40%	0,42%	0,97%	0,17%	0,22%	0,43%
2048	0,11%	0,41%	0,05%	3,42%	0,42%	0,99%	0,17%	0,22%	0,44%
Fonte Verônica									
Com duplicatas									
Erro Relativo IC = 99,9%									
Interv.Dias	alcalinidade bicarbonato	alcalinidade carbonato	calcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnésio	pH	sódio
2	0,03%	0,10%	0,02%	1,01%	0,15%	4,80%	0,05%	0,08%	0,12%
4	0,04%	0,10%	0,02%	1,02%	0,15%	4,85%	0,05%	0,12%	0,12%
8	0,06%	0,13%	0,02%	1,06%	0,15%	5,39%	0,06%	0,31%	0,12%
16	0,14%	0,30%	0,03%	1,37%	0,17%	9,51%	0,13%	0,56%	0,13%
32	0,22%	0,56%	0,07%	3,05%	0,32%	22,79%	0,26%	0,74%	0,22%
64	0,27%	0,75%	0,11%	5,70%	0,71%	32,40%	0,35%	0,84%	0,52%
128	0,30%	0,85%	0,13%	7,07%	1,06%	47,21%	0,41%	0,89%	0,83%

256	0,31%	0,91%	0,15%	9,56%	1,27%	49,41%	0,44%	0,92%	1,02%
512	0,32%	0,94%	0,15%	9,66%	1,39%	50,50%	0,45%	0,93%	1,13%
1024	0,32%	0,95%	0,16%	9,70%	1,45%	51,09%	0,46%	0,94%	1,18%
2048	0,32%	0,96%	0,16%	9,73%	1,48%	51,33%	0,46%	0,95%	1,21%
Sem duplicatas									
Erro Relativo IC = 99,9%									
Interv.Dias	alcalinidade bicarbonato	alcalinidade carbonato	calcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnésio	pH	sódio
2	0,03%	0,13%	0,02%	0,94%	0,16%	0,27%	0,05%	0,07%	0,13%
4	0,04%	0,16%	0,02%	1,00%	0,17%	0,33%	0,06%	0,13%	0,13%
8	0,09%	0,35%	0,03%	1,44%	0,21%	0,39%	0,12%	0,29%	0,14%
16	0,18%	0,69%	0,06%	3,55%	0,43%	0,87%	0,25%	0,45%	0,16%
32	0,24%	0,94%	0,10%	6,25%	0,77%	1,65%	0,36%	0,55%	0,29%
64	0,28%	1,08%	0,13%	8,10%	1,00%	2,25%	0,43%	0,60%	0,65%
128	0,30%	1,16%	0,14%	9,17%	1,14%	2,61%	0,47%	0,63%	0,95%
256	0,31%	1,20%	0,15%	9,75%	1,21%	2,79%	0,49%	0,65%	1,14%
512	0,32%	1,22%	0,16%	10,04%	1,24%	2,88%	0,50%	0,65%	1,24%
1024	0,32%	1,23%	0,16%	10,20%	1,26%	2,91%	0,50%	0,66%	1,29%
2048	0,32%	1,24%	0,16%	10,27%	1,27%	2,97%	0,50%	0,66%	1,31%

4.11 Análise da heterogeneidade das fontes de água com base na fórmula de Pierre Gy

Conforme o que foi dito no item 4.9, o teor de fluoreto da Fonte Santo Antonio foi determinante para estipularmos o intervalo de coleta de 128 dias (aproximadamente 4 meses) a ser aplicado para as oito fontes amostradas nesta tese.

Decidiu-se realizar o teste de heterogeneidade apenas na Fonte Santo Antonio com o intuito de checar se o tempo de coleta de 4 meses (ou 128 dias) realmente é factível utilizando a Teoria de Pierre Gy.

Não foi possível realizar o teste de Heterogeneidade para o fluoreto da Fonte Antonio, pois conforme é possível ver na tabela A.2, não foi possível quantificar o teor de fluoreto nos seguintes dias: 08/12/2016; 09/12/2016, 22/12/2016; 15/02/2017; 06/03/2017 e 16/03/2017. Para esses dias, o teor de fluoreto foi menor que 0,20; que era o limite de detecção do equipamento que realizava a análise química do fluoreto no laboratório. Com base nesse fato, optou-se por analisar a heterogeneidade dos elementos sódio e cloreto que são ânions que possuem um valor máximo permitido a ser aceito na água mineral. Os teores de cloreto e sódio para a Fonte Santo Antonio são mostrados na tabela 4.33.

Para o cloreto e para o sódio foram calculados os seguintes termos:

- h_i : heterogeneidade carregada pelo fragmento Foi dentro do lote de água mineral;
- a média da heterogeneidade h_i ;
- a variância das heterogeneidades carregadas pelos fragmentos de um lote;

- a heterogeneidade de constituição de um lote CH_L ;
- o fator constante da heterogeneidade de constituição dos componentes de um lote – IH_L ;
- A variância do erro fundamental ($\sigma^2(FE)$).

Foi preciso determinar os termos acima para que se pudesse realizar o teste de Heterogeneidade para o cátion sódio e para o ânion cloreto. As tabelas 4.34 e 4.35 mostram os resultados dos cálculos dos termos listados acima para o cloreto e sódio respectivamente. A segunda coluna das tabelas 4.34 e 4.35 contém o cálculo do termo auxiliar $\frac{(a_i - a_L)^2}{M_i^2}$ para ajudar no cálculo do IH_L . Na terceira coluna das tabelas foi calculado IH_L para cada incremento de 20 L de água mineral, pois no processo de amostragem da Fonte Santo Antonio usamos os dados referentes às embalagens em forma de galões de 20 litros.

Para cada incremento o IH_L foi calculado por meio da seguinte fórmula:

$$IH_L(\text{incremento}) = \frac{(a_i - a_L)^2}{M_i^2} \frac{1}{N_F} \frac{1}{M_i^2} \quad (4.2)$$

Na tabela a soma corresponde à somatória de todos os valores de $IH_L(\text{incremento})$ calculados por meio da fórmula acima. Os termos CH_L , IH_L e a variância do erro fundamental $\sigma^2(FE)$ foram determinados conforme as fórmulas descritas no item 2.17 da Revisão Bibliográfica dessa tese.

Antes analisar a contribuição do efeito pepita em conjunto com os termos do teste de heterogeneidade, foi preciso normalizar os dados, conforme mostra a tabela 4.36. Para a normalização dos dados, pegou-se a média dos teores e somaram-se à média os seguintes valores: uma vez o desvio padrão, duas vezes o desvio padrão e três vezes o desvio padrão, obtendo dessa forma três novos valores. Depois tomou-se a média novamente e subtraíram-se os seguintes valores: uma vez o desvio padrão, duas vezes o desvio padrão e três vezes o desvio padrão, obtendo dessa forma mais três novos valores.

Realizou-se duas vezes, o cálculo da regressão linear com os dados normalizados, onde calculou-se o teor de cloreto em função do teor de sódio. Chamando o teor de sódio de x e o teor de cloreto de y foram usadas para regressão linear com os dados normalizados as seguintes fórmulas:

$$y = 0,7216x + 4,1591 \quad (4.3)$$

$$y = 0,7139x + 3,9138 \quad (4.4)$$

Os valores de x e y para a equação 4.3 estão nas colunas com os nomes Na^* e Cl^* da tabela 4.36. Os valores de x e y para a equação 4.4 estão nas colunas com os nomes Na^{**} e Cl^{**} da tabela 4.36.

Na tabela 4.36 de cor laranja, o desvio* foi calculado subtraindo-se o segundo valor de Na^* pelo primeiro valor de Na^* . O mesmo cálculo foi feito para Cl^* , Na^{**} e Cl^{**} para se obter o desvio*.

Convém dizer que sempre a variância relativa total foi calculada por meio da relação entre a variância absoluta dos dados e o quadrado da média, ou seja, a variância relativa é o resultado da divisão do desvio padrão ao quadrado pela média ao quadrado. A variância relativa dos normalizados foi obtida por meio da seguinte fórmula:

$$var\ relat = \frac{(desvio^*)^2}{(média)^2} \quad (4.5)$$

A porcentagem de contribuição da variância relativa foi determinada dividindo-se a variância relativa dos dados normalizados pela variância relativa dos dados brutos.

Com base nos resultados obtidos na tabela auxiliar 4.36 partiu-se para o estudo da contribuição do efeito pepita em conjunto com os termos obtidos no teste de heterogeneidade que se encontram mostrados nas tabelas 4.34 e 4.35.

Convém agora explicar os termos encontrados nas tabelas 4.37 e 4.38. O desvio padrão absoluto e a variância absoluta corresponde à variância dos dados brutos do cloreto e do sódio. A variância relativa corresponde à divisão da variância absoluta pelo quadrado da média. O desvio relativo é obtido tirando-se a raiz quadrada da variância absoluta.

O termo contribuição CH foi calculado usando-se a seguinte fórmula:

$$Contr. CH(\%) = \frac{\sigma^2(FE)}{var\ relat.} \times 100 \quad (4.6)$$

Onde:

$\sigma^2(FE)$ = variância do erro fundamental

var. relat. = variância relativa

Contr. CH = contribuição da heterogeneidade de constituição CH

Na coluna % var relat. das tabelas 4.37 e 4.38, temos a variância de extensão calculada para o intervalo de confiança de IC = 99,9% para o cloreto e para o sódio respectivamente, nos seguintes intervalos de coleta: 2 em 2 dias, 4 em 4 meses (128 dias), 6 em 6 meses, 12 em 12 meses e 68 em 68 meses (2048 dias ou 5,7 anos).

A variância relativa de extensão (termo var. relat. ext.) é calculada dividindo-se a variância de extensão por 300. A contribuição da extensão sill (Contr. Ext. sill (%)) é obtido por meio da fórmula 4.7:

$$Contr. ext. sill(\%) = \frac{var. relat. ext.}{var. relat.} \times 100 \quad (4.7)$$

O termo Contr. CH. ext. das tabelas 4.37 e 4.38 foi calculado usando-se a seguinte fórmula:

$$\text{Contr. CH. ext. (\%)} = \frac{\sigma^2(FE)}{\text{var. relat. ext.}} \times 100 \quad (4.8)$$

O termo Contr. Ext. CH/Sill das tabelas 4.37 e 4.38 foi calculado multiplicando-se o termo *Contr. ext. sill*(%) da equação 4.7 pelo termo *Contr. CH. ext.* (%) da equação 4.8.

O termo Contr. Erro Amostragem é determinado por meio da fórmula 4.9:

$$\text{Contr. Erro Amostragem} = \frac{(100 - \text{Contr. CH. ext.}) * (\text{Contr. ext. sill})}{100} \quad (4.9)$$

Os resultados obtidos para a contribuição do erro de amostragem e para o erro absoluto de amostragem foram importantes para determinar qual será o melhor intervalo de amostragem pelo meio do teste de heterogeneidade e análise da contribuição do sill e do efeito pepita.

Agora por meio do cálculo de todas as variáveis das tabelas 4.33 a 4.38 é possível tomar-se uma decisão com relação ao melhor intervalo de coleta a ser aplicado para as oito fontes em que foram realizadas as análises químicas e físico-químicas.

Na tabela 4.37, para o cloreto é possível ver que a contribuição do erro de amostragem para o intervalo de coleta de 2 em 2 dias; 4 em 4 meses; 6 em 6 meses; 12 em 12 meses e 68 em 68 meses tem os seguintes respectivamente: **6,20%; 6,80%; 7,64%; 19,59% e 79,37%**. Na tabela 4.38, que se refere aos dados do sódio, vê-se que a contribuição do erro de amostragem para o intervalo de coleta de 2 em 2 dias; 4 em 4 meses; 6 em 6 meses; 12 em 12 meses e 68 em 68 meses tem os seguintes respectivamente: **4,66%; 7,51%; 16,30%; 38,25% e 86,78%**.

Considerou-se que é inadmissível aceitar uma contribuição de erros de amostragem maiores que 10%, pois um erro de amostragem dessa ordem de grandeza afeta por demasia o processo de classificação da água mineral, visto que os teores de sódio e cloreto são elementos traços dentro do volume das embalagens de água. Para o cloreto, a contribuição dos erros de amostragem é maior que 10% no intervalo de coleta maior que seis meses; para o sódio, em contrapartida, já no intervalo de coleta maior que 4 meses, a contribuição dos erros de amostragem é quase 20%.

Foi preciso usar essa outra metodologia para se determinar o tempo de coleta porque houve vários problemas com a medição do fluoreto que influenciaram nos resultados da variância de extensão. Para as fontes Santo Antonio, Sonja, Juliana e Verônica, em muitos dias de amostragem obteve-se como resultado para o fluoreto, o valor $< 0,20 \frac{mg}{L}$. Neste caso, para se realizar todos os cálculos para o fluoreto dessas quatro fontes, adotou-se o valor de $0,10 \frac{mg}{L}$. Ao se admitir esse valor, cometeram-se erros de amostragem. Foi necessário admitir um valor para fluoreto ao invés de remover os dados do banco de dados, pois isso enviesaria o processo de amostragem. Foi preciso usar essa outra metodologia, para checar se o intervalo de 4 meses que foi adotado com base nos resultados da variância de extensão era algo correto. Por isso, escolheu-se essa outra metodologia e

foram realizados os cálculos para o sódio e para cloreto, que são íons que têm máximo valor permitido na legislação. Com base neste fato, adotar-se-á o intervalo de coleta de quatro meses para todas as fontes com base no fato no intervalo de coleta maior que 128 dias ou 4 meses, o teor de fluoreto assumirá o valor igual a zero para a Fonte Santo Antonio, e no período superior a 4 meses a contribuição dos erros de amostragem para o cloreto e para o sódio assumem valores maiores que 10% que não são aceitáveis na indústria.

Para reiterar a escolha feita com relação ao intervalo de coleta, convém apenas analisar os valores dos erros absolutos para o cloreto e o para o sódio. Na tabela 4.37, é possível averiguar que para o cloreto, nos intervalos de coletas mostrados, o erro absoluto não excederá o valor de 10%, mesmo com o intervalo de coleta de 1 ano em 1 ano. Porém, conforme vê-se na tabela 4.38 para o sódio que o erro absoluto no intervalo de coleta de 6 em 6 meses, é maior que 10%.

Portanto, convém ratificar a escolha do intervalo de coleta de 4 em 4 meses, ou 128 dias, conforme cálculo de variância de extensão e após a realização do teste de heterogeneidade e estudo da contribuição do efeito pepita na amostragem.

No intervalo de coleta de 4 em 4 meses, garante-se que o fluoreto da Fonte Santo Antonio não irá atingir o valor igual a zero, garante-se que o erro absoluto de amostragem será menor que 10% para os íons cloreto e sódio, e por último, garante-se que a contribuição dos erros de amostragem seja menor que 10% para o cloreto e para o sódio da Fonte Santo Antonio.

Por último, convém finalizar este item da tese, informando que os dados brutos da Fonte Santo Antonio, aparentemente não apresentavam correlação entre si, conforme mostrava a tabela 4.11 do item 4.3 da tese. A tabela 4.39 mostra os dados da matriz correlação calculada com os dados brutos da amostragem. Na tabela 4.39 que houve forte correlação apenas entre os seguintes pares de parâmetros: alcalinidade e pH; cálcio e magnésio.

Após a normalização de todos os dados brutos da Fonte Santo Antonio, foram construídos alguns gráficos com os pares de dados normalizados conforme mostra a figura 4.19. Veja que por meio dos gráficos da figura 4.19 podemos correlacionar os seguintes pares de parâmetros: alcalinidade e cálcio, alcalinidade e cloreto, alcalinidade e condutividade, alcalinidade e fluoreto, alcalinidade e pH, alcalinidade e magnésio; e alcalinidade e sódio, cloreto e sódio. Foi possível encontrar uma correlação linear entre os pares mencionados anteriormente, e esse fato será muito útil ao escolher quais parâmetros devem de analisados para a Fonte Santo Antonio em campanhas futuras. Estudando-se a correlação linear entre os pares de parâmetros que foram analisados até o presente momento para todas as fontes, pretende-se reduzir o número de parâmetros a serem analisados para cada fonte nas campanhas futuras que se darão em projetos posteriores a finalização dessa tese de Doutorado.

Tabela 4.33 – Teores do cloreto e sódio da Fonte Santo Antonio

Tipo de embalagem	cloreto (mg/L)	Sódio	N
Copo 300 m	17,0	23,0	1
Galão 20 L	20,0	15,0	2
Galão 20 L	20,0	16,0	3
Galão 20 L	20,0	15,0	4
Galão 20 L	20,0	16,0	5
Galão 20 L	20,0	17,0	6
Galão 20 L	20,0	15,0	7
Galão 20 L	20,0	15,0	8
Galão 20 L	20,0	16,0	9
Galão 20 L	20,0	15,0	10
Galão 20 L	24,2	26,0	11
Galão 20 L	24,1	28,0	12
Galão 20 L	16,1	23,4	13
Galão 20 L	15,5	23,4	14
Galão 20 L	15,5	22,6	15
Galão 20 L	14,8	24,7	16
Galão 20 L	14,9	19,4	17
Galão 20 L	15,2	22,3	18
Galão 20 L	15,0	23,1	19
Galão 20 L	13,2	20,7	20

Tabela 4.34 – Cálculo do h_i , CH_L , IHL e variância do erro fundamental ($\sigma^2(FE)$) para o cloreto

h_i (cloreto)	$\frac{(a_i - a_L)^2}{M_i^2}$	IHL
-0,1	6,47E+08	4,84E+00
0,1	1,20E+09	8,95E+00
0,1	1,20E+09	8,95E+00
0,1	1,20E+09	8,95E+00
0,1	1,20E+09	8,95E+00
0,1	1,20E+09	8,95E+00
0,1	1,20E+09	8,95E+00
0,1	1,20E+09	8,95E+00
0,1	1,20E+09	8,95E+00
0,1	1,20E+09	8,95E+00
0,1	1,20E+09	8,95E+00
0,3	1,39E+10	1,04E+02
0,3	1,34E+10	1,01E+02
-0,1	1,89E+09	1,41E+01
-0,2	3,07E+09	2,30E+01
-0,2	3,07E+09	2,30E+01
-0,2	4,82E+09	3,61E+01
-0,2	4,55E+09	3,40E+01
-0,2	3,77E+09	2,83E+01
-0,2	4,28E+09	3,21E+01
-0,3	1,03E+10	7,70E+01
	SOMA	5,58E+02
Média h_i	0,04339	
Var h_i	0,024079878	
$IHL=CH_L$*média de M_i	481,5975557	
Var (FE)=IHL/ML	0,001203994	

Tabela 4.35 – Cálculo do h_i , CH_L , IHL e variância do erro fundamental ($\sigma^2(FE)$) para o sódio

h_i (Na)	$\frac{(a_i - a_L)^2}{M_i^2}$	IHL
0,2	4,02E+09	2,56E+01
-0,2	9,33E+09	5,93E+01
-0,2	5,87E+09	3,73E+01
-0,2	9,33E+09	5,93E+01
-0,2	5,87E+09	3,73E+01
-0,1	3,20E+09	2,04E+01
-0,2	9,33E+09	5,93E+01
-0,2	9,33E+09	5,93E+01
-0,2	5,87E+09	3,73E+01
-0,2	9,33E+09	5,93E+01
0,3	1,52E+10	9,68E+01
0,4	2,67E+10	1,70E+02
0,2	5,10E+09	3,24E+01
0,2	5,10E+09	3,24E+01
0,1	3,07E+09	1,95E+01
0,2	9,49E+09	6,03E+01
0,0	7,40E+07	4,70E-01
0,1	2,44E+09	1,55E+01
0,2	4,28E+09	2,72E+01
0,0	3,03E+08	1,92E+00
	SOMA	9,11E+02
Média h_i	-0,03082	
Var h_i	0,051586426	
IHL=CHL*média de M_i	1031,728514	
Var (EF)=IHL/ML	0,002579321	

Tabela 4.36 – Tabela auxiliar para normalizar os teores de cloreto e sódio

	Cl	Na	Cl/Na	Na*	Cl*	Na**	Cl**
Desvio	3,05	4,23					
NVar Relativa total	0,0279	0,0455	0,6				
Média	18,3	19,8	0,9	19,8	18,47	19,8	18,1
M+1desvio	21,3	24,1	0,9	24,1	21,52	20,8	18,7
M+2desvios	24,4	28,3	0,9	28,3	24,58	21,7	19,4
M+3desvios	27,4	32,5	0,8	32,5	27,63	22,7	20,1
M-1desvio	15,2	15,6	1,0	15,6	15,41	18,9	17,4
M-2desvios	12,2	11,4	1,1	11,4	12,36	17,9	16,7
M-3desvios	9,1	7,1	1,3	7,1	9,31	17,0	16,0
Mediana	20	20,05	1,0	20,1	18,63	19,8	18,1
Dif media-mediana-%	-8,6	-1,1					
			Desvio *	4,2317	3,0536	0,9462	0,6755
			Var Relat	0,0455	0,0273	0,0023	0,0014
			5% Var Relat	0,0023	0,0014		
			Contrib Var Relat %	100,00	98,05	5,00	4,90

Na* e Cl* correspondem aos valores normalizados para o sódio e o cloreto respectivamente.

Na** e Cl** correspondem aos valores aos quais foram somadas as variâncias relativas

Tabela 4.37 – Cálculo do melhor intervalo de coleta para o cloreto por meio da análise da contribuição do efeito pepita

IC = 99,9%													
	(%)		(%)										
Desvio Relat	16,70	Desvio abs	3,05	Var Abs	9,3078	Contrib CH (%)							
3 x desvio relativo	50,09	3*Desvio Abs (99%)	9,15	Var Relat	0,0279	4,32				Média (mg/L)	18,30	Máximo (mg /L)	24,37
										IC=99,9%		IC=99,9%	
			(%) da var Relat	Var Relat de ext.	Contrib Ext Sill (%)	Contrib CH Ext	Contrib.Ext. CH/Sill	Contrib Erro Amostragem	Valor max	Valor min	Valor max	Valor min	
Erro de Extensão	Min (2 em 2 dias)	3*var Relat.	0,88	0,0029	10,52	41,05	4,32	6,20	21,27	15,33	28,33	20,41	
	4 em 4 meses	3*var Relat.	0,93	0,0031	11,12	38,84	4,32	6,80	21,36	15,24	28,44	20,30	
	6 em 6 meses	3*var Relat.	1,0	0,0033	11,96	36,12	4,32	7,64	21,47	15,13	28,59	20,15	
	12 em 12 meses	3*var Relat.	2,0	0,0067	23,91	18,06	4,32	19,59	22,78	13,82	30,34	18,40	
	Max (68 em 68 meses) ou 5,7 anos	3*var Relat.	7,00	0,0233	83,69	5,16	4,32	79,37	26,69	9,91	35,54	13,20	
Erro Absoluto	2 em 2 dias	5,95											
	4 em 4 meses	6,11											
	6 em 6 meses	6,34											
	1 em 1 ano	8,97											
			%										
	Limite Cloreto	250	0,025										
N = 20 amostras													

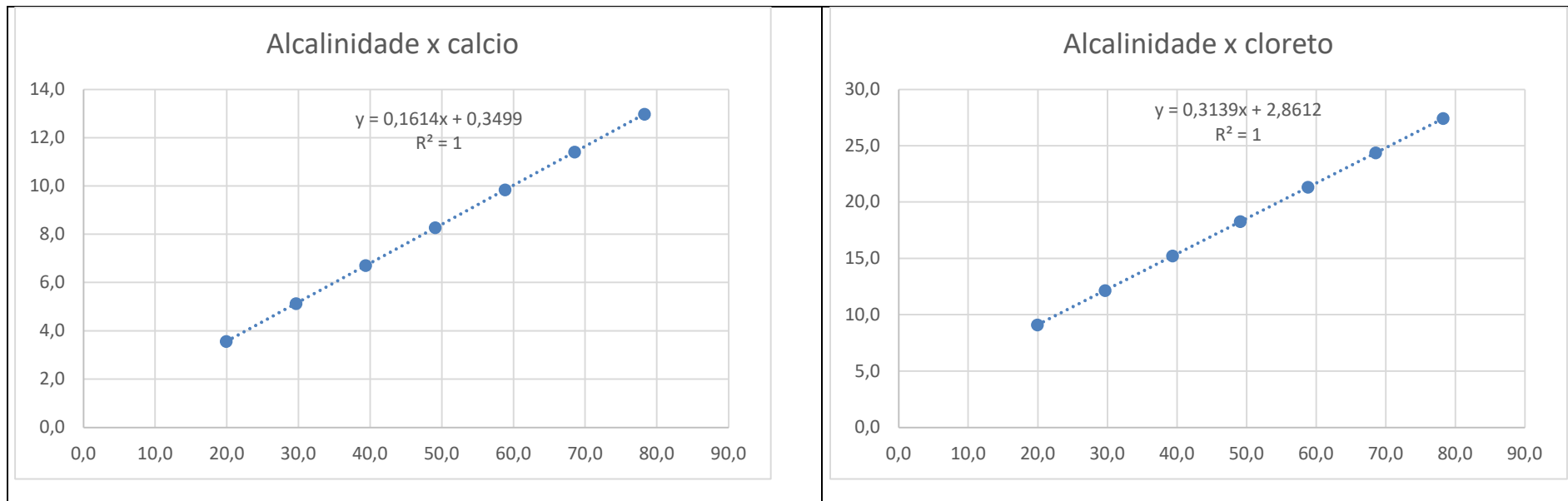
Tabela 4.38 – Cálculo do melhor intervalo de coleta para o sódio por meio da análise da contribuição do efeito pepita

IC = 99,9%													
	(%)		(%)										
Desvio Relat	0,00	Desvio abs	4,232	Var Abs	17,9071	Contrib CH (%)							
3 x desvio relativo	0,00	3*Desvio Abs (99%)	12,695	Var Relat	0,0455	5,66				Média (mg/L)	19,83	Máximo (mg /L)	32,53
										IC=99,9%		IC=99,9%	
			(%) da var Relat	Var Relat de ext.	Contrib Ext Sill (%)	Contrib CH Ext	Contrib.Ext. CH/Sill	Contrib Erro Amostragem	Valor max	Valor min	Valor max	Valor min	
Erro de Extensão	Min (2 em 2 dias)	3*var Relat.	1,41	0,0047	10,32	54,88	5,66	4,66	23,91	15,75	39,21	25,84	
	4 em 4 meses	3*var Relat.	1,8	0,0060	13,18	42,99	5,66	7,51	24,44	15,22	40,08	24,97	
	6 em 6 meses	3*var Relat.	3,0	0,0100	21,96	25,79	5,66	16,30	25,78	13,88	42,28	22,77	
	12 em 12 meses	3*var Relat.	6,0	0,0200	43,92	12,90	5,66	38,25	28,24	11,42	46,32	18,73	
	Max (68 em 68 meses) ou 5,7 anos	3*var Relat.	12,63	0,0421	92,45	6,13	5,66	86,78	32,04	7,62	52,55	12,50	
Erro Absoluto	2 em 2 dias	8,16											
	4 em 4 meses	9,22											
	6 em 6 meses	11,90											
	1 em 1 ano	16,83											
			%										
	Limite Sódio	200	0,020										
N = 20 amostras													

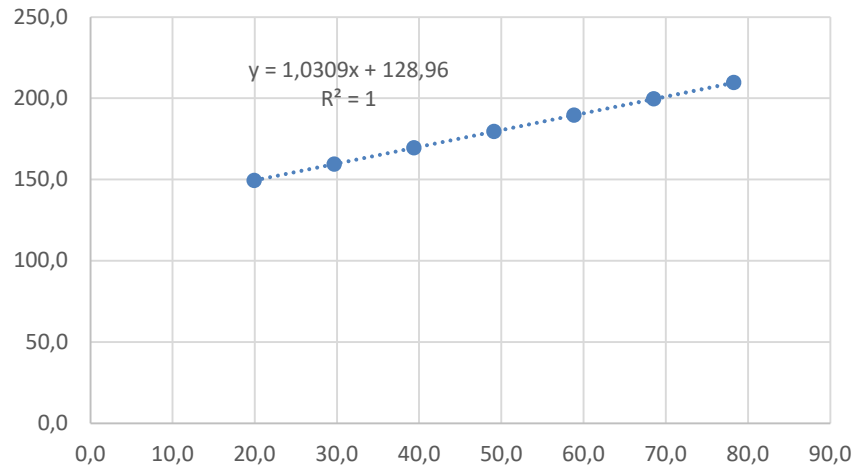
Tabela 4.39 – Correlação entre os parâmetros de qualidade da Fonte Santo Anto Antonio antes da normalização

	alcalinidade	cálcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnésio	pH	sódio
alcalinidade	1,0000	0,2542	0,5374	-0,0877	-0,1687	0,1414	0,8040	-0,4894
cálcio	0,2542	1,0000	0,5746	-0,1783	0,2265	0,9623	0,2844	0,3771
cloreto	0,5374	0,5746	1,0000	0,1308	-0,0456	0,4029	0,4053	-0,1948
condutividade	-0,0877	-0,1783	0,1308	1,0000	-0,5636	-0,2951	-0,4958	-0,3351
fluoreto	-0,1687	0,2265	-0,0456	-0,5636	1,0000	0,3016	0,2144	0,3810
magnésio	0,1414	0,9623	0,4029	-0,2951	0,3016	1,0000	0,2315	0,5227
pH	0,8040	0,2844	0,4053	-0,4958	0,2144	0,2315	1,0000	-0,2481
sódio	-0,4894	0,3771	-0,1948	-0,3351	0,3810	0,5227	-0,2481	1,0000

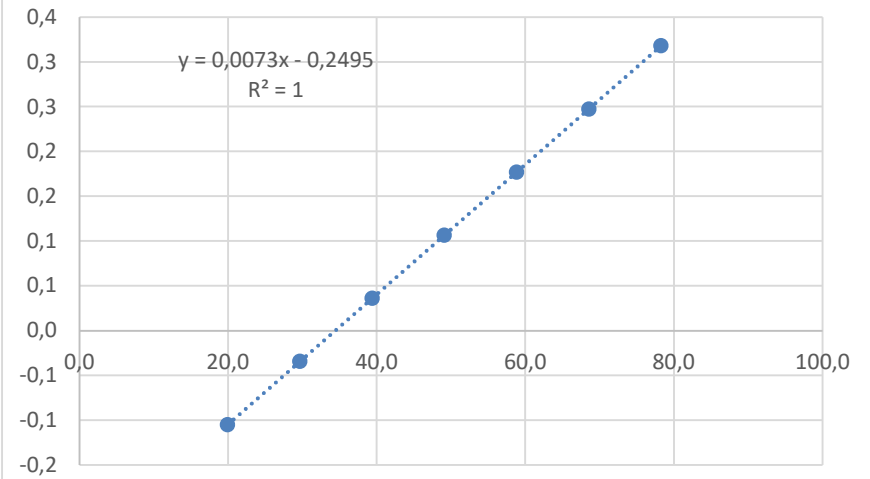
Figura 4.19 – Gráfico de Correlação entre os parâmetros de qualidade da Fonte Santo Antonio depois que os parâmetros foram normalizados



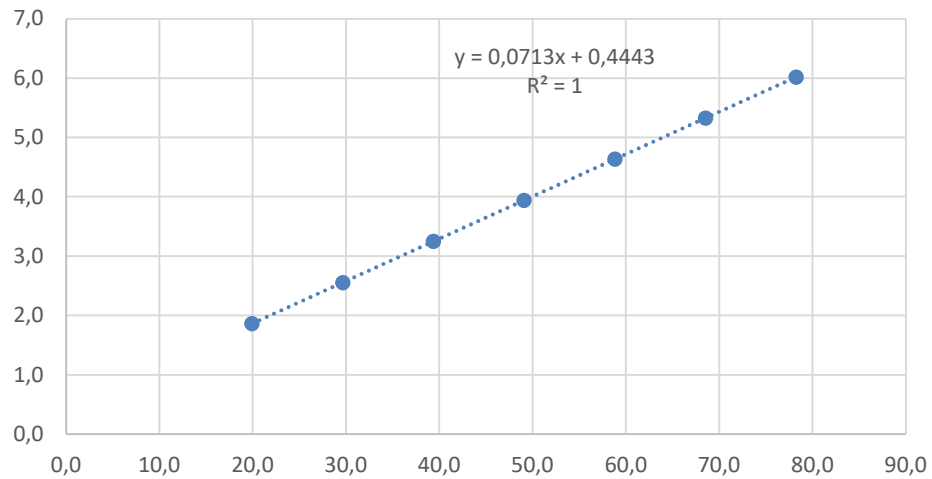
Alcalinidade x condutividade



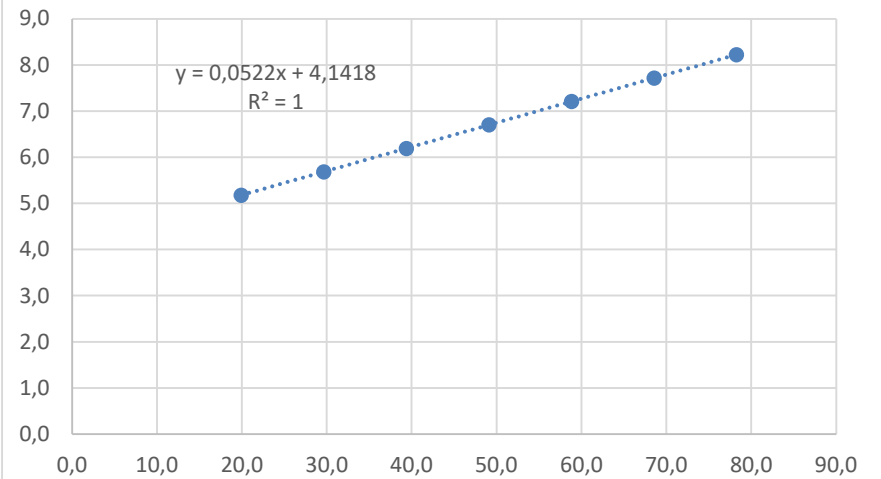
Alcalinidade x fluoreto



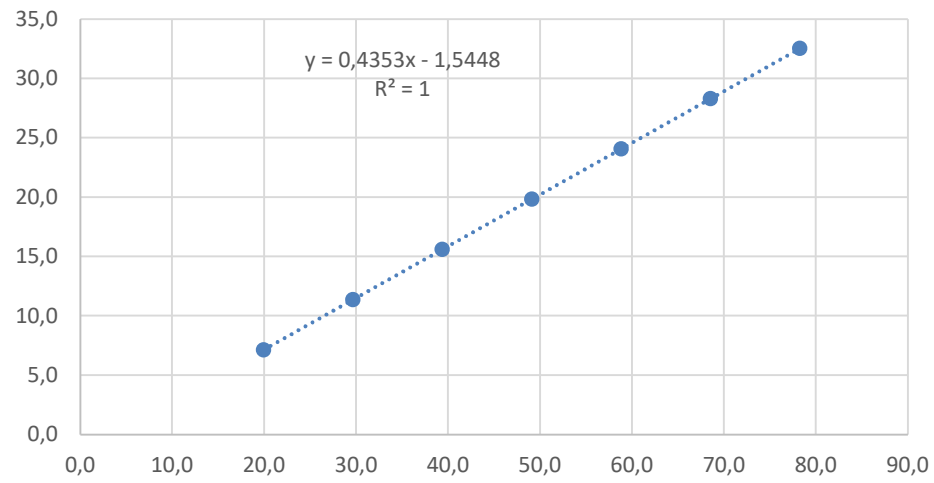
Alcalinidade x magnésio



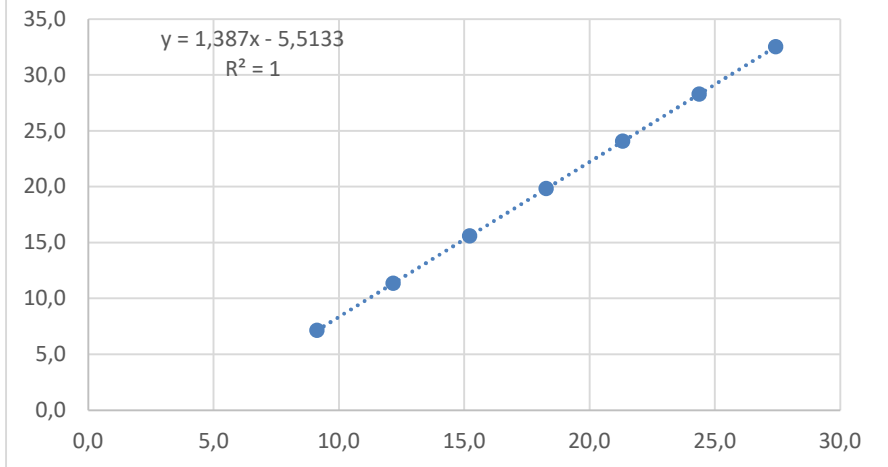
Alcalinidade x pH



Alcalinidade x sódio



Cloreto x sódio



4.12 Número mínimo de amostras recomendado

Para as diversas fontes analisadas não foi possível obter o mesmo número de amostras para todos os parâmetros. Por isso, para se obter o “número ideal” de amostras que sejam suficientes do ponto de vista estatístico foi preciso usar a fórmula de suficiência amostral do item 2.14.

Fez-se um rearranjo nesta fórmula de forma a isolar o valor do erro de amostragem assim:

$$E = \frac{(\sigma)(z_{\alpha/2})}{\sqrt{n}} \quad (4.10)$$

Onde:

$z_{\alpha/2}$ = o valor crítico conforme o nível de confiança (tabelado em Montgomery & Runger, 2003)

σ = o desvio padrão

E = a esperança matemática

n = é o número mínimo de amostras.

Foram realizados os cálculos do erro de amostragem variando-se o número de amostras para o fluoreto das oito fontes analisadas. Os resultados são mostrados na figura 4.20. Para a Fonte Antonio, foram realizados os cálculos do erro de amostragem em função do número de amostras para todos os parâmetros. Os resultados são mostrados na figura 4.21.

Tanto na figura 4.20 como na figura 4.21 é possível ver que o erro de amostragem decresce significativamente quando se adota o número de amostras $n = 20$.

Segundo os autores Montgomery & Runger (2003), o erro de amostragem corresponde a diferença entre a média da amostra e a média da população. Escreve-se isso matematicamente assim:

$$E = \bar{x} - \mu \quad (4.11)$$

Onde:

E = esperança matemática ou diferença entre as médias

\bar{x} = média dos dados amostrais

μ = média da população

O objetivo de qualquer processo de amostragem é coletar um número de amostras n cuja média amostral \bar{x} seja cada vez mais próxima da média μ dos dados da população. Quanto menor for a diferença entre as médias, menor será o erro de amostragem.

Foram realizados para a Fonte Santo Antonio, o cálculo da média normalizada em função do número de amostras. O número de amostras n recomendável é aquele em que a média normalizada tenderá a 1,0. Estes cálculos são mostrados na figura 4.22.

No gráfico da figura 4.22 é possível ver que para $n = 20$, a média normalizada dos dados será igual a 1 para os parâmetros de qualidade da Fonte Santo Antonio.

Para se certificar finalmente que o número mínimo de amostras a ser adotado é igual $n = 20$, foram os cálculos da diferença das médias com número de amostras menor que 20 ($n < 20$) com relação à média dos dados com $n = 20$. Isso foi feito para todos os parâmetros de qualidade da Fonte Santo Antonio.

Os resultados desses cálculos estão representados sob a forma de gráficos que são mostrados nas figuras 4.23 a 4.30. Analisando essas figuras, é possível perceber que a média dos dados amostrais ($n < 20$) converge para média dos dados quando se tem $n = 19$. Para garantir que o erro amostral seja mínimo, é conveniente adotar um número de amostras $n = 20$; com base na análise das figuras 4.23 a 4.30.

O número de amostras $n = 20$ não é de forma alguma, um número arbitrário, mas sim é um número que garantirá que o erro amostral será minimizado (conforme mostram as figuras 4.20 e 4.21), também garantirá que a média normalizada dos parâmetros será igual a 1,0 (conforme mostra a figura 4.22). E finalmente, o número de amostras $n = 20$ irá minimizar o valor das diferenças entre as médias (conforme mostram as figuras 4.23 a 4.30). A periodicidade de coleta conforme dito anterior será de 4 em 4 meses, serão realizadas 3 campanhas de amostragem por ano. Procurar-se-á coletar no mínimo 20 amostras ao longo de um ano. Sugere-se distribuir as amostras nas campanhas de coleta da seguinte forma:

- 1ª campanha em abril de cada ano: coleta de 8 amostras por causa do período chuvoso que vai de janeiro a abril (verão/outono);
- 2ª campanha em agosto de cada ano: coleta de 6 amostras por causa do período mais seco que vai de maio a agosto (outono/inverno);
- 3ª campanha em dezembro de cada ano: coleta de 6 amostras por causa da volta do período chuvoso que vai de setembro a dezembro (primavera/verão).

Convém ressaltar que a periodicidade e o número estão correlacionados. A periodicidade de 4 meses para se coletar a amostra foi válida para as 8 fontes estudadas e essa periodicidade é base num número de amostras mínimo de 20 amostras que garante que os dados tenham o comportamento gaussiano desejado num processo de amostragem.

Conclui-se que o processo de amostragem que é estipulado na legislação brasileira vigente, onde o número de amostras é igual a uma amostra, tanto para as análises anuais de controle de qualidade das fontes como para as análises trienais do Laboratório de Mineração (LAMIN), carecem de uma revisão para que possam coletar o número de amostras suficientes sob o ponto da Estatística Clássica e da Geoestatística.

Faz-se necessária a revisão em caráter urgente da periodicidade de coleta de amostras das fontes tanto para controle de qualidade anual (análises completas anuais a serem apresentadas para cada fontes) como para classificação na Agência Nacional de Mineração (ANM), visto que esta periodicidade tem posto em risco as qualidades das fontes de águas minerais e conseqüentemente tem posto em risco à saúde dos consumidores de água mineral.

Figura 4.20 – Erro de Amostragem em função do número de amostras para o fluoreto de todas as fontes

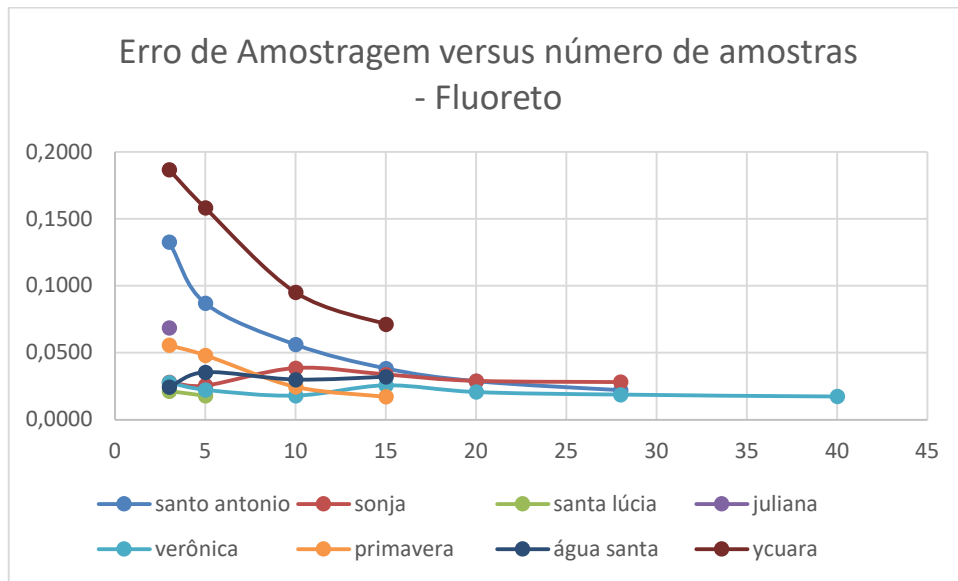


Figura 4.21 – Erro de Amostragem em função do número de amostras para os parâmetros da Fonte Santo Antonio

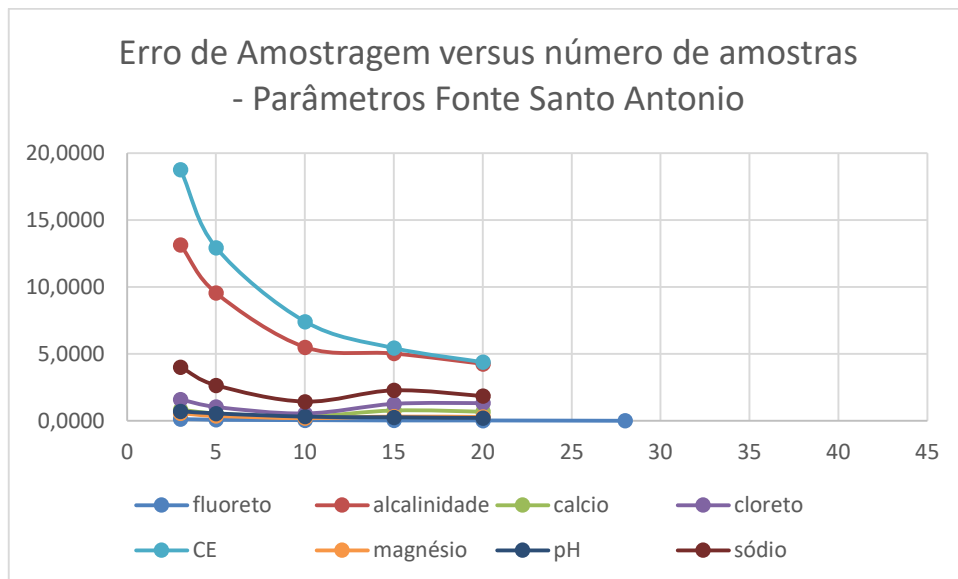


Figura 4.22 – Gráfico de diferença dos dados em relação à média das amostras conforme o número N de amostras coletadas

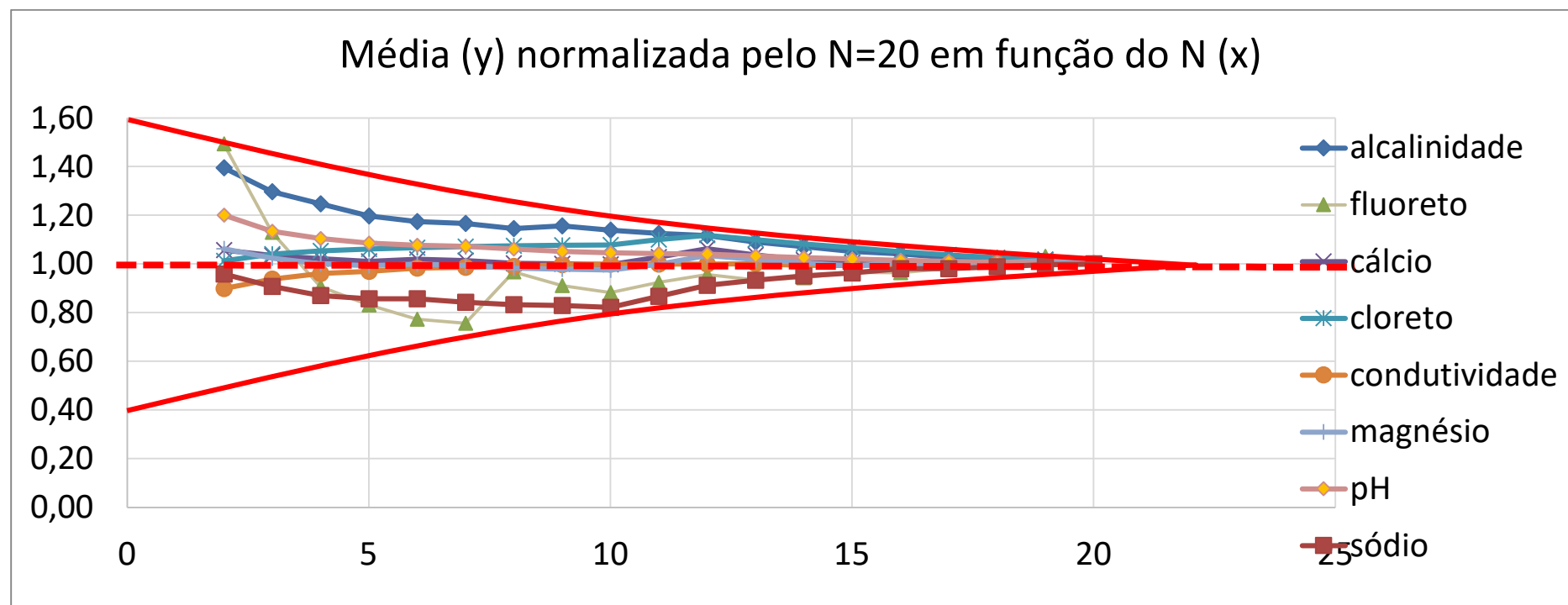


Figura 4.23 – Gráfico de diferença das médias para a alcalinidade da Fonte Santo Antonio

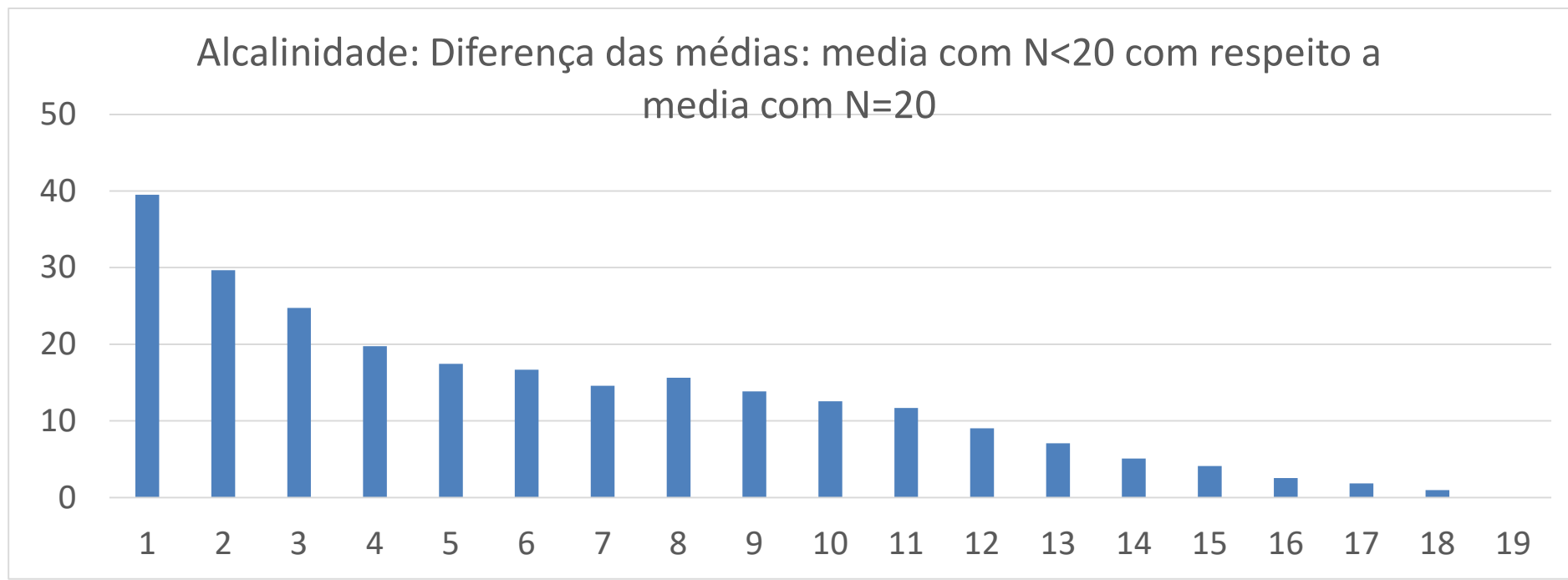


Figura 4.24 – Gráfico de diferença das médias para o cálculo da Fonte Santo Antonio

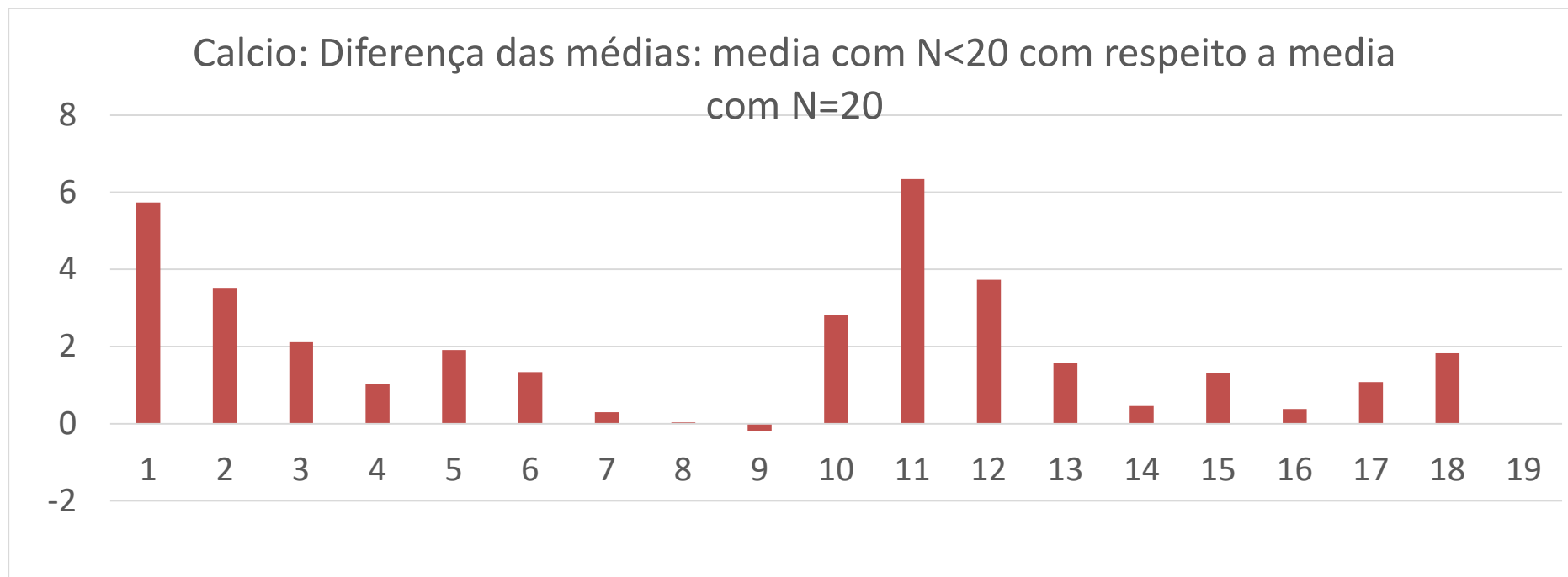


Figura 4.25 – Gráfico de diferença das médias para o cloreto da Fonte Santo Antonio

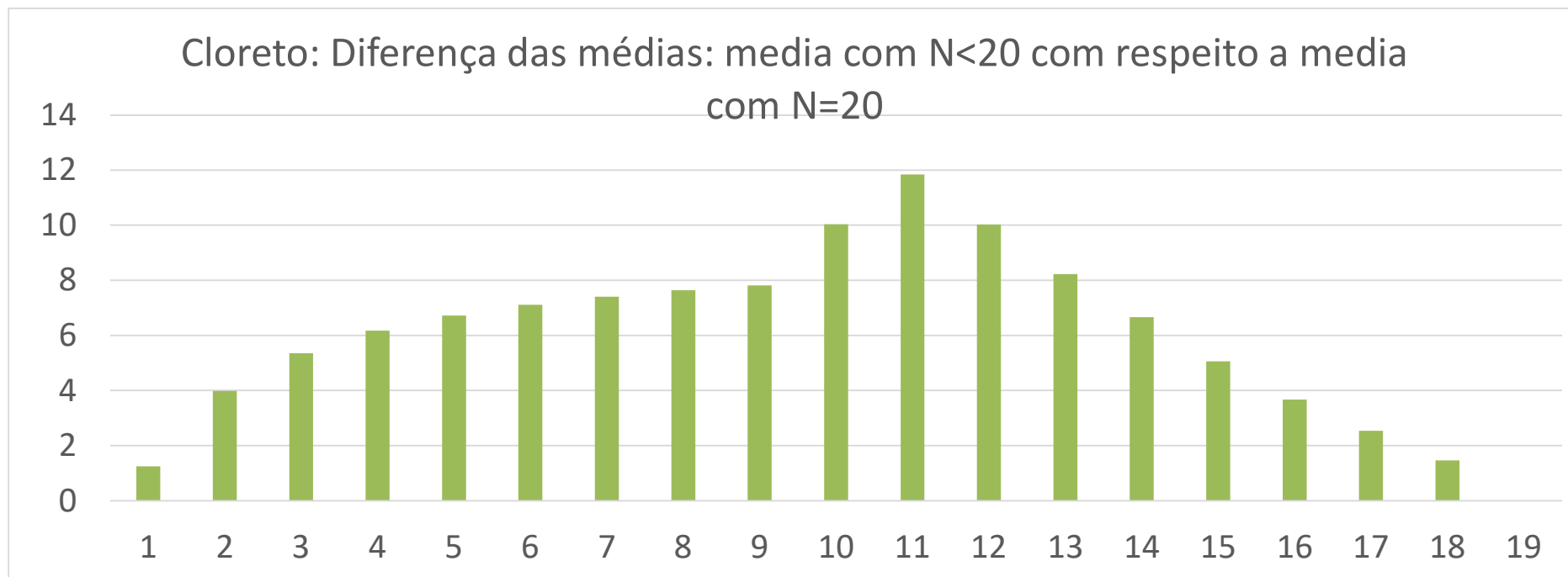


Figura 4.26 – Gráfico de diferença das médias para a condutividade da Fonte Santo Antonio

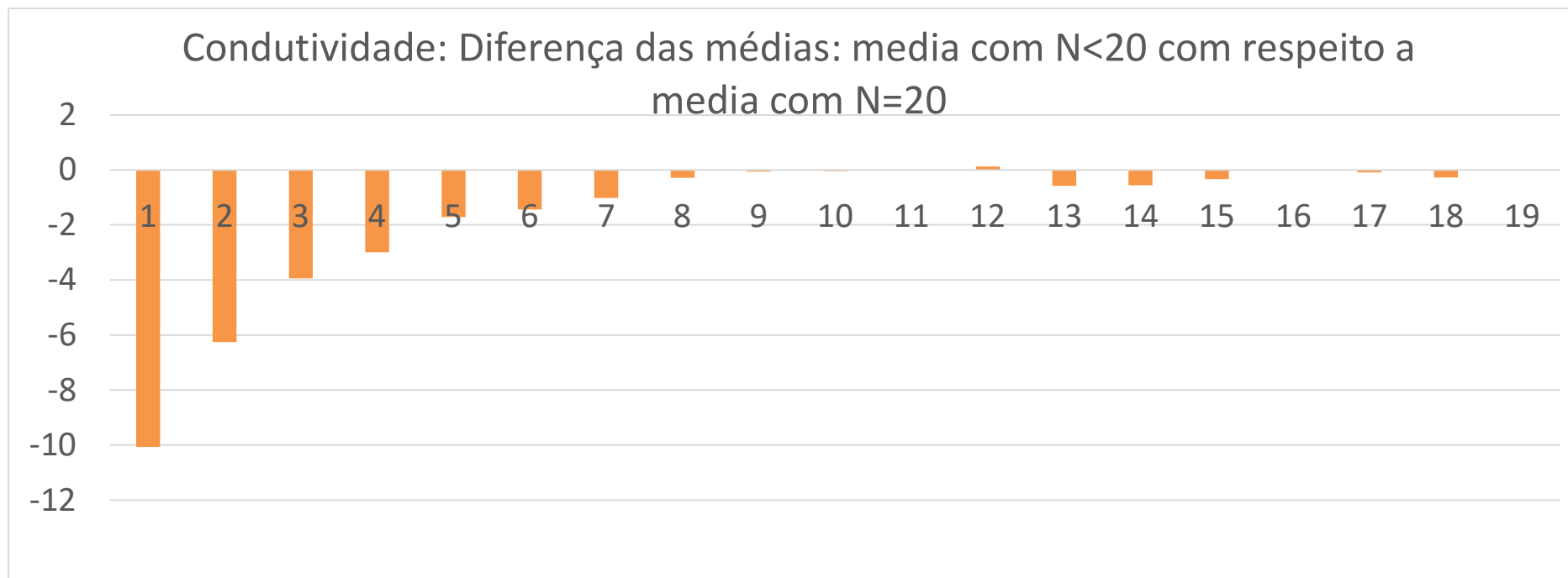


Figura 4.27 – Gráfico de diferença das médias para o fluoreto da Fonte Santo Antonio

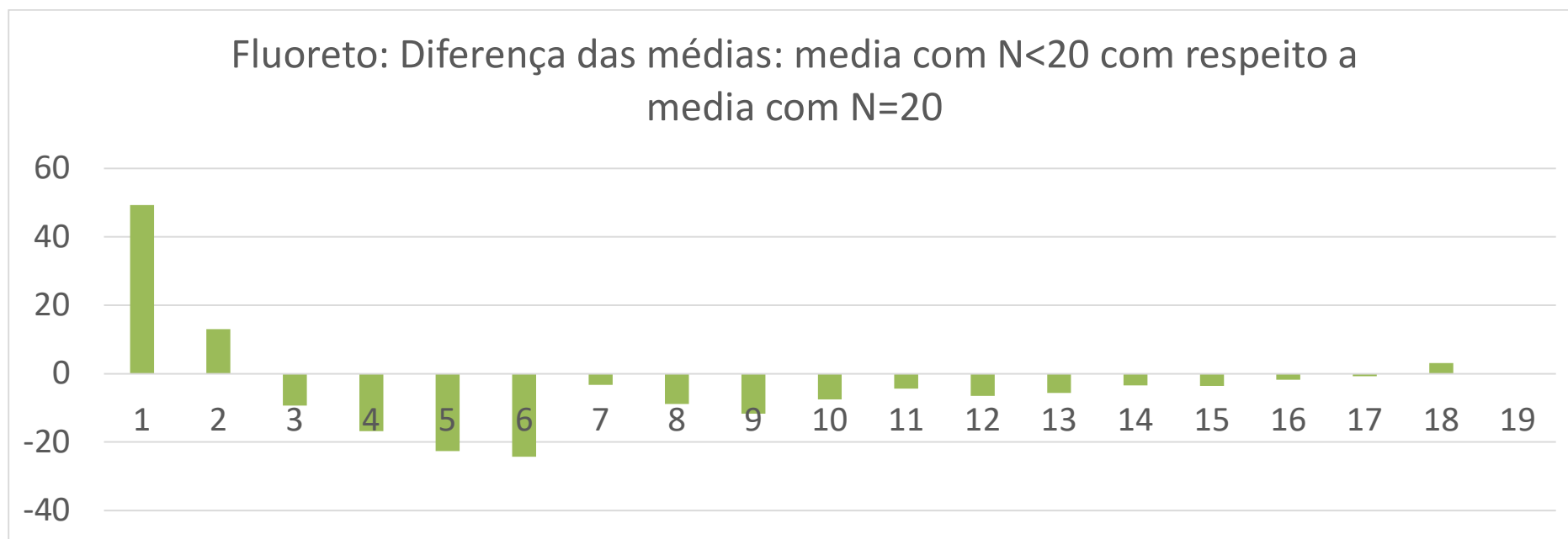


Figura 4.28 – Gráfico de diferença das médias para o magnésio da Fonte Santo Antonio

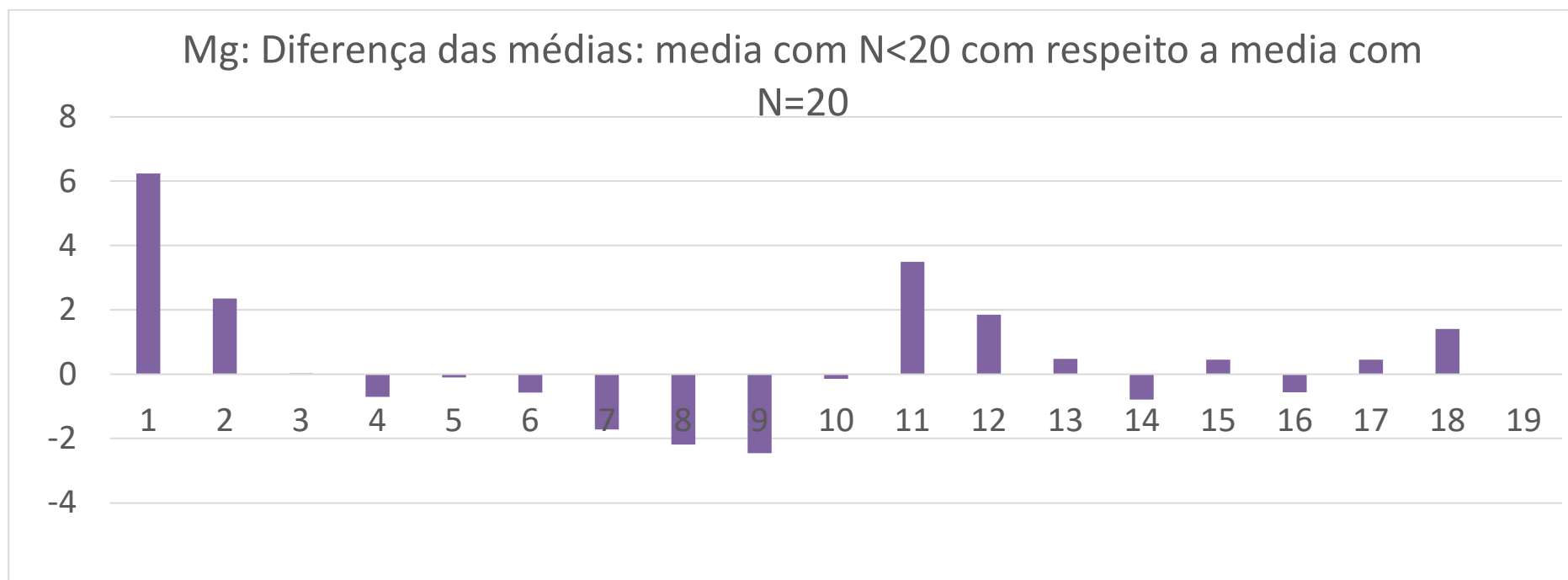


Figura 4.29 – Gráfico de diferença das médias para o pH da Fonte Santo Antonio

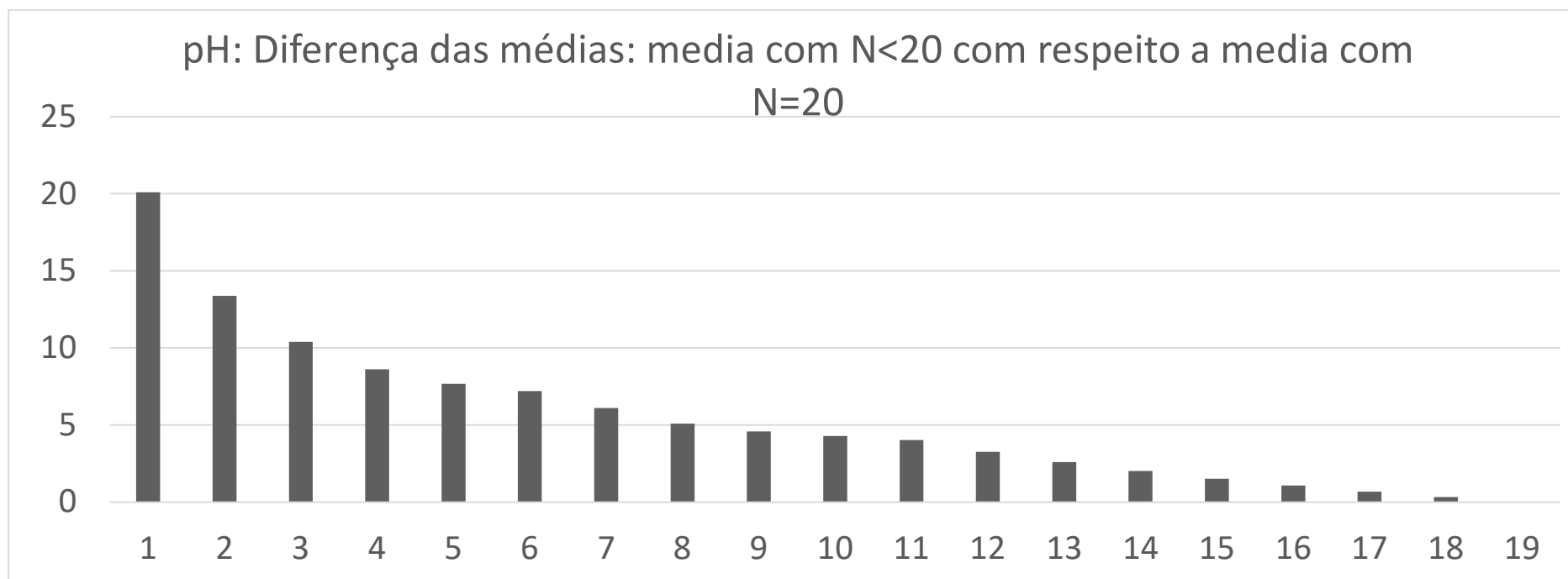
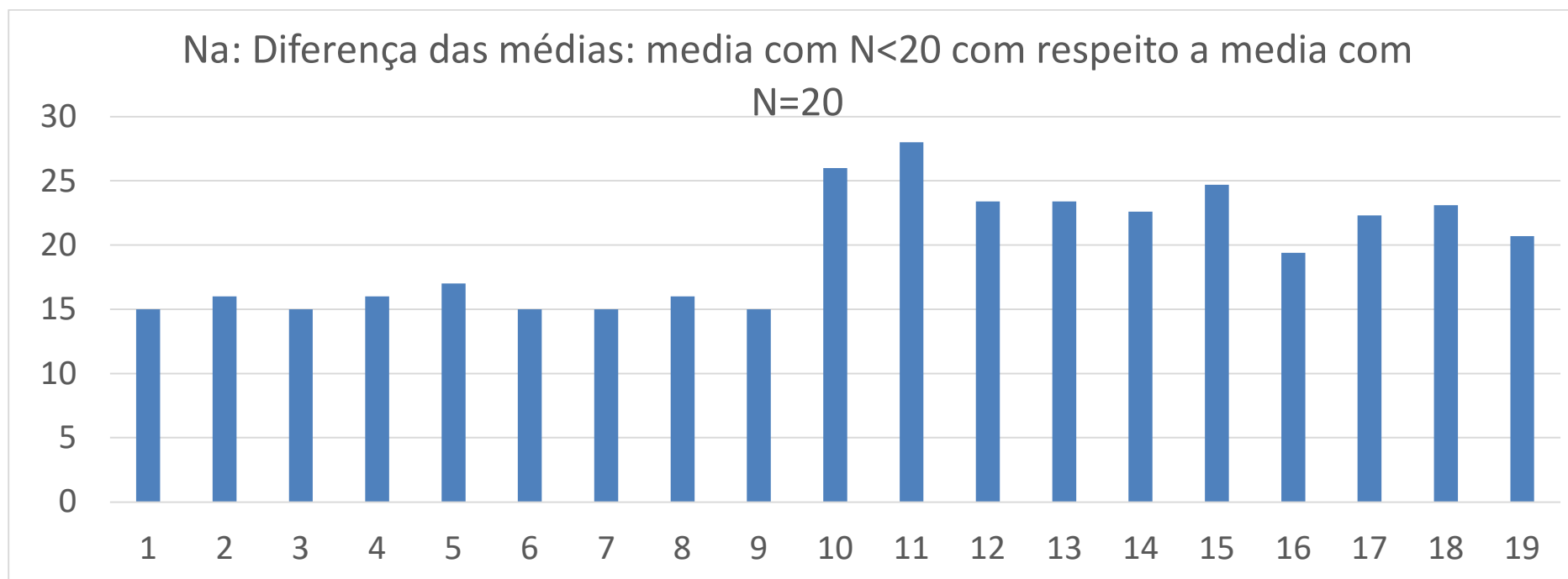


Figura 4.30 – Gráfico de diferença das médias para o sódio da Fonte Santo Antonio



4.13 Diagrama de Piper e a explicação sobre a correlação dos parâmetros de qualidade das águas subterrâneas

As tabelas 4.40 a 4.47 mostram algumas análises do LAMIN para as fontes estudadas nessa tese. Para as fontes Santo Antonio e Sonja foi possível obter o histórico das análises do LAMIN desde a década de 80 até o ano de 2016. Nas tabelas mencionadas anteriormente encontram-se a classificação da água mineral com base na legislação da ANM e do LAMIN e também a classificação das águas minerais segundo o Diagrama de Piper.

Nas figuras 4.31 a 4.52 são mostrados os diagramas de Piper para as análises do LAMIN que se encontram nas tabelas 4.40 a 4.47.

Para se fazer o Diagrama de Piper utilizou-se o software livre Qualigraf® da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME (2015). Nos diagramas de Piper das figuras 4.31 a 4.52, são mostrados os dados de entrada que correspondem às massas dos seguintes cátions: Na⁺ (sódio), K⁺ (potássio), Ca²⁺ (cálcio) e Mg²⁺. Também são mostradas as quantidades em massas dos seguintes ânions: HCO₃⁻ (bicarbonato), CO₃²⁻ (carbonato), SO₄²⁻ (sulfato) e Cl⁻ (cloreto). Ao lado esquerdo do diagrama de Piper encontra-se um gráfico em forma de pizza que indica as porcentagens em massa dos cátions e ânions mencionados anteriormente.

A tabela 4.48 mostra a classificação das águas minerais das fontes conforme a última análise do LAMIN e compara-se com os elementos que possuem o coeficiente de correlação $r \geq 0,71$.

Tabela 4.40– Análises do LAMIN para a Fonte Sonja

Fonte Sonja – Composição Química ($\frac{mg}{L}$)							
<u>Elemento</u>	Ano da Análise do LAMIN						
	1986	1997	2000	2006	2010	2013	2016
Lítio	0,01	0,02	0,023	0,029	0,013	Não informado no rótulo	0,01
Estrôncio	0,06	0,035	0,04	0,057	0,036	0,042	0,031
Cálcio	8,16	10,42	11,42	15,56	10,54	15,5	5,64
Magnésio	1,7	1,33	1,18	1,61	1,394	1,46	1,62
Potássio	7,29	2,85	3,49	3,36	3,037	2,37	3,32
Sódio	13,18	13,18	12,9	12,88	8,248	10,3	5,67
Fosfato	0	0,87	0,2	0,5	0,14	0,18	0,27
Sulfato	1,19	5,76	9,2	15,7	9,65	16,06	4,67
Bicarbonato	50,59	66,56	62,7	63,95	48,67	56,63	35,52
Fluoreto	0,08	0,06	0,12	0,1	0,14	0,08	0,16
Nitrato	0,35	0,26	0,1	0,2	0,52	Não informado no rótulo	1,05
Cloreto	2,54	1,55	3,34	5,89	2,3	Não informado no rótulo**	1,36
Brometo	0	0	0	0	0	0,03	0,01

Classificação da Água segundo o LAMIN	Água Mineral Fluoretada, Litinada e Radioativa na Fonte	Água Mineral Fluoretada, Litinada e Radioativa na Fonte	Água Mineral Fluoretada, Litinada e Radioativa na Fonte	Água Mineral Fluoretada, Litinada e Radioativa na Fonte	Água Mineral Fluoretada, Litinada e Radioativa na Fonte	Água Mineral Fluoretada e Radioativa na Fonte	Água Mineral Fluoretada, Litinada e FORTEMENT E Radioativa na Fonte
Classificação da água segundo Piper	Sódica bicarbonatada	Sódica bicarbonatada	Sódica bicarbonatada	Mista bicarbonatada	Cálcica bicarbonatada	Cálcica bicarbonatada	Mista bicarbonatada

**Em 2013, foi preciso assumir que o teor de cloreto era igual a $0,1 \frac{mg}{L}$ para se obter o Diagrama de Piper.

Tabela 4.41 – Análises do LAMIN para a Fonte Santo Antonio

Fonte Santo Antonio Composição Química (mg/L)							
Elementos	Ano do LAMIN						
	1988	2001	2005	2006	2009	2013	2016
Bário	0,45	0,24	0,294	0,326	0,276	0,062	0,275
Estrôncio	0,12	0,067	0,084	0,096	0,083	0,09	0,085
Cálcio	5,78	5,78	7,12	7,43	7,917	8,89	7,26
Magnésio	4,2	2,68	3,12	3,61	3,728	3,91	3,28
Potássio	4,8	3,9	3,9	4,16	4,146	4,3	4,96
Sódio	16,15	22	23	21,01	20,86	21,6	18,2
3Boro	0	0	0,035	0,05	0,035	0,035	0
Sulfato	1,86	2,5	3,4	3,5	3,36	3,5	2,51
Bicarbonato	55,63	68,12	70,61	65,66	60,69	56,68	46,62
Fluoreto	0,18	0,27	0,32	0,26	0,25	0,10	0,12
Nitrato	1,6	6,8	6,2	8,1	9,35	12,24	11,14
Cloreto	17,07	9,84	13,06	14,01	17,14	21,63	19,53
Classificação da Água segundo o LAMIN	Água Mineral Fluoretada, Fracamente Radioativa na Fonte	Água Mineral Fluoretada	Água Mineral Fluoretada	Água Mineral Fluoretada	Água Mineral Fluoretada	Água Mineral Fluoretada	Água Mineral Fluoretada
Classificação da água segundo Piper	Sódica bicarbonatada	Sódica bicarbonatada	Sódica bicarbonatada	Sódica bicarbonatada	Sódica bicarbonatada	Sódica bicarbonatada	Sódica bicarbonatada

Tabela 4.42 – Análises do LAMIN para a Fonte Primavera

Fonte Primavera Composição Química (mg/L)	
Elementos	Ano do LAMIN
	2017
Bário	—
Estrôncio	—
Cálcio	31,000
Magnésio	16,500
Potássio	3,990

Sódio	4,180
Boro	—
Sulfato	1,11
Bicarbonato	169,14
Fluoreto	0,11
Nitrato	5,15
Cloreto	10,85
Classificação da Água segundo o LAMIN	Água Mineral Alcalino terrosa, Fluoretada.
Classificação da água segundo Piper	Mista bicarbonatada

Tabela 4.43 – Análises do LAMIN para a Fonte Santa Lúcia

Fonte Santa Lúcia Composição Química (mg/L)	
Elementos	Ano do LAMIN
	2018
Bário	0,154
Estrôncio	0,039
Cálcio	2,590
Magnésio	1,680
Potássio	2,840
Sódio	13,100
Boro	—
Sulfato	0,41
Bicarbonato	2,22
Fluoreto	0,03
Nitrato	14,04
Cloreto	22,68

Classificação da Água segundo o LAMIN	Água mineral fluoretada, Hipotermal na fonte.
Classificação da água segundo Piper	Sódica cloretada

Tabela 4.44 – Análises do LAMIN para a Fonte Juliana

Fonte Juliana Composição Química (mg/L)		
Elementos	Ano do LAMIN	
	2010	2014
Bário	0,028	0,067
Estrôncio	0,026	0,065
Cálcio	5,122	6,41
Magnésio	1,207	3,020
Potássio	3,052	3,440
Sódio	4,899	6,690
Boro	<0,07	-
Sulfato	14,05	0,15
Bicarbonato	39,34	46,65
Fluoreto	0,12	0,02
Nitrato	0,19	8,25
Cloreto	1,62	1,7
Classificação da Água segundo o LAMIN	Água Mineral Fluoretada, Vanádica e Radioativa na Fonte	Água Mineral Fluoretada
Classificação da água segundo Piper	Mista Bicarbonatada	Mista bicarbonatada

Tabela 4.45 – Análises do LAMIN para a Fonte Verônica

Fonte Verônica Composição Química (mg/L)		
Elementos	Ano do LAMIN	
	2010	2014
Bário	0,064	0,067
Estrôncio	0,075	0,072
Cálcio	6,587	6,67
Magnésio	3,326	3,28
Potássio	2,652	3,160
Sódio	7,18	7,63
Boro	-	-
Sulfato	0,10	0,13
Bicarbonato	40,74	45,27
Fluoreto	0,03	0,03
Nitrato	14,48	12,44
Cloreto	2,79	2,48
Classificação da Água segundo o LAMIN	Água Mineral Fluoretada, Fracamente Radioativa na Fonte	Água Mineral Fluoretada, Fracamente Radioativa na Fonte
Classificação da água segundo Piper	Mista bicarbonatada	Mista bicarbonatada

Tabela 4.46 – Análises do LAMIN para a Fonte Ycuara

Fonte Ycuara Composição Química (mg/L)	
Elementos	Ano do LAMIN
	2018
Bário	0,147
Estrôncio	0,046
Cálcio	4,720
Magnésio	0,941
Potássio	2,300
Sódio	34,400

Boro	—
Sulfato	1,56
Bicarbonato	105,81
Fluoreto	0,93
Nitrato	0,03
Cloreto	1,37
Classificação da Água segundo o LAMIN	Água Mineral Fluoretada
Classificação da água segundo Piper	Sódica bicarbonatada

Tabela 4.47 – Análises do LAMIN para a Fonte Água Santa

Fonte Água Santa Composição Química (mg/L)	
Elementos	Ano do LAMIN
	2018
Bário	0,018
Estrôncio	0,020
Cálcio	16,800
Magnésio	11,100
Potássio	1,240
Sódio	1,210
Boro	—
Sulfato	0,13
Bicarbonato	110,78
Fluoreto	0,11
Nitrato	0,77
Cloreto	0,11

Classificação da Água segundo o LAMIN	Água Mineral Fluoretada, Fracamente Radioativa na Fonte
Classificação da água segundo Piper	Mista bicarbonatada

Figura 4.31 – Diagrama de Piper para a Fonte Santo Antonio para o ano de 1988

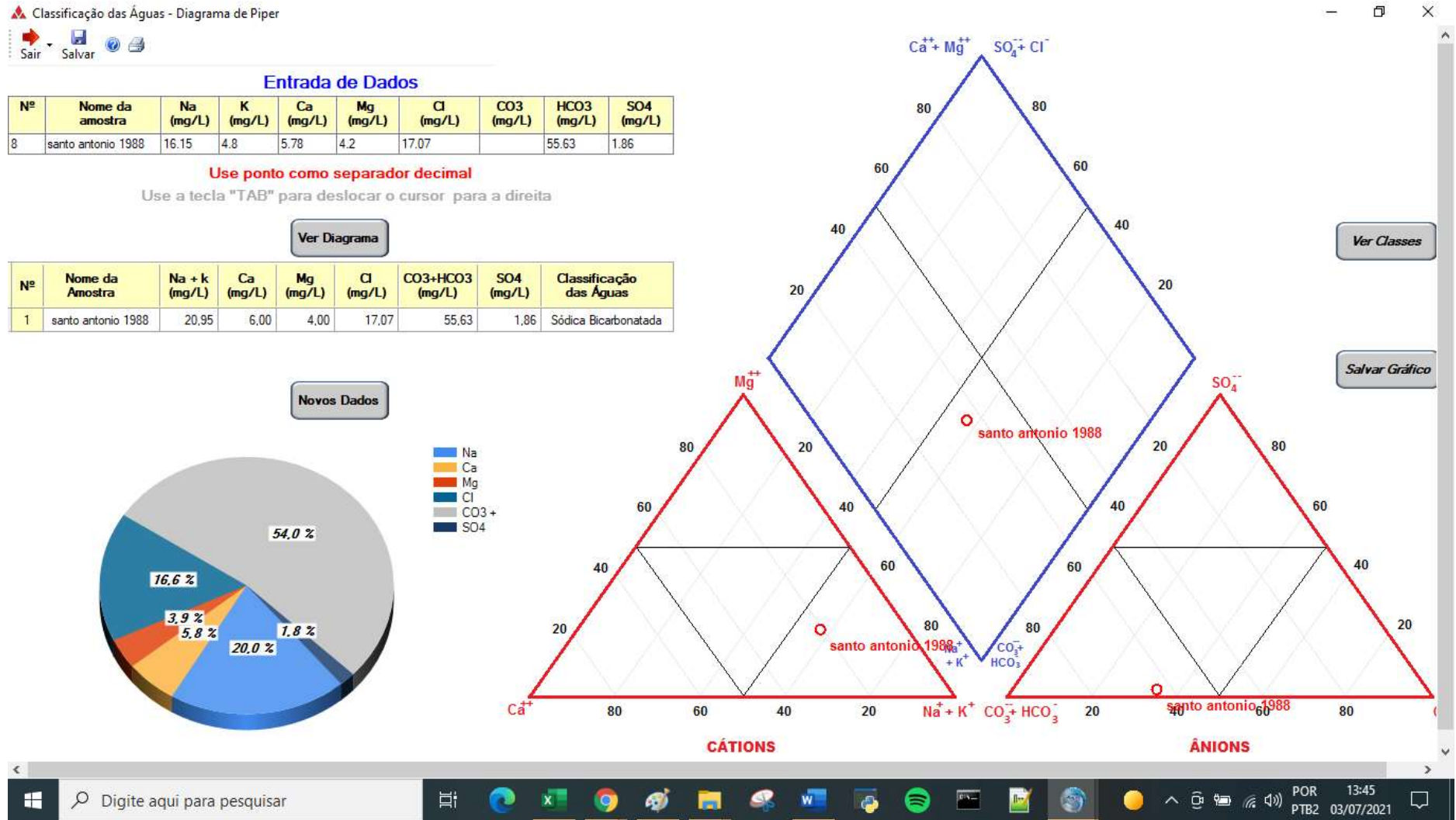


Figura 4.32 – Diagrama de Piper para a Fonte Santo Antonio para o ano de 2001

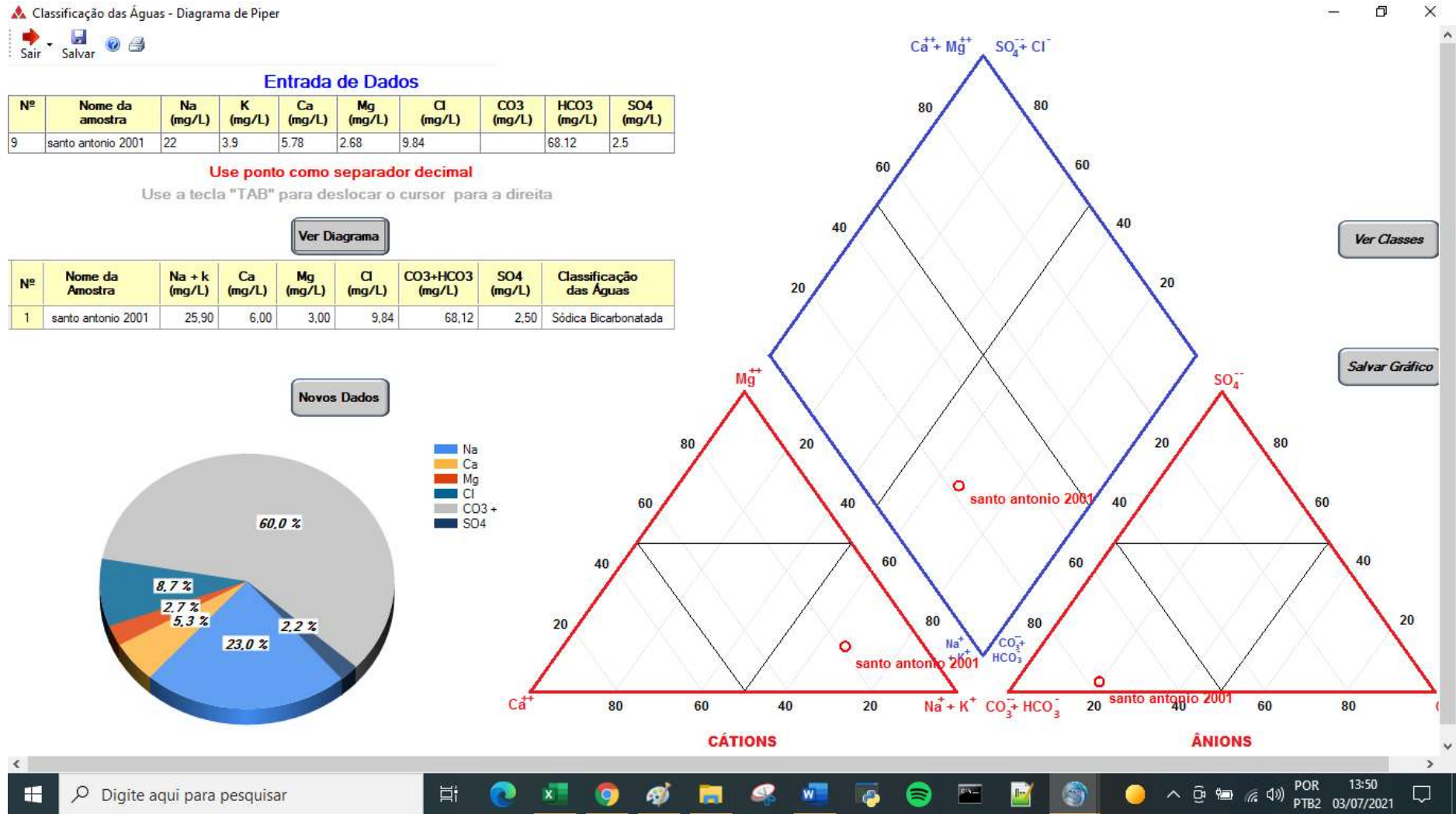


Figura 4.33 – Diagrama de Piper para a Fonte Santo Antonio para o ano de 2005

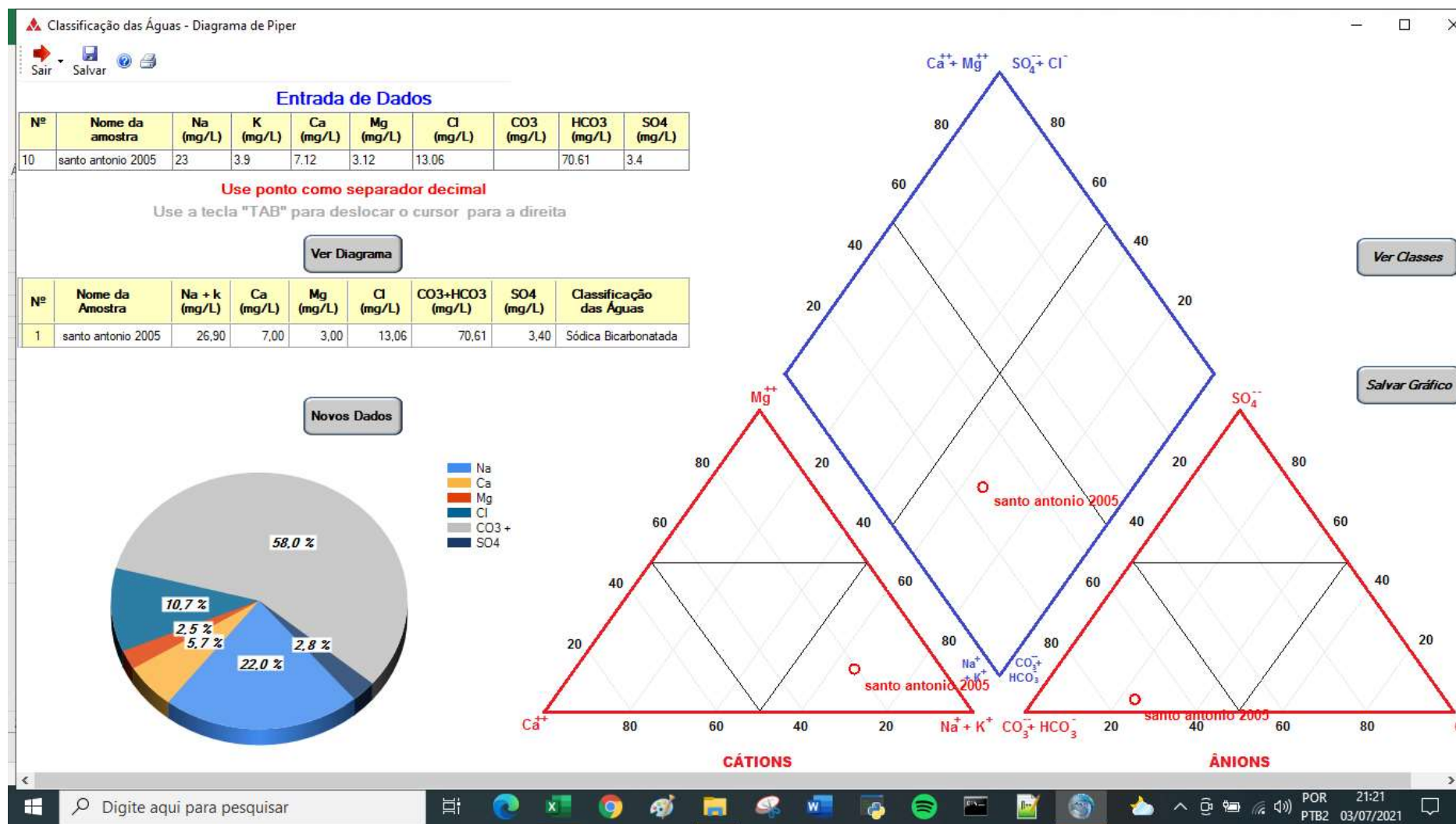


Figura 4.34 – Diagrama de Piper para a Fonte Santo Antonio para o ano de 2006

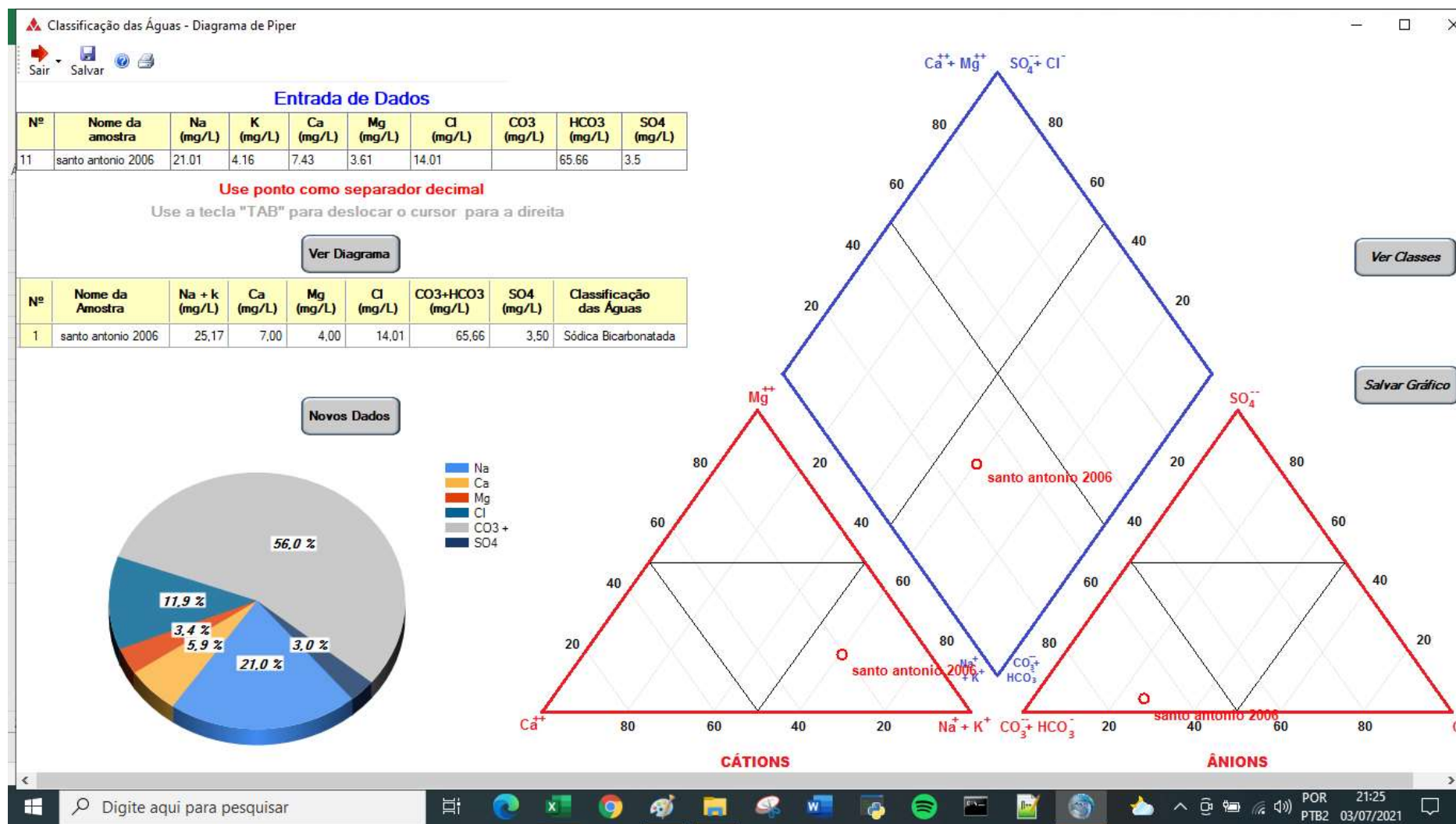


Figura 4.35 – Diagrama de Piper para a Fonte Santo Antonio para o ano de 2009

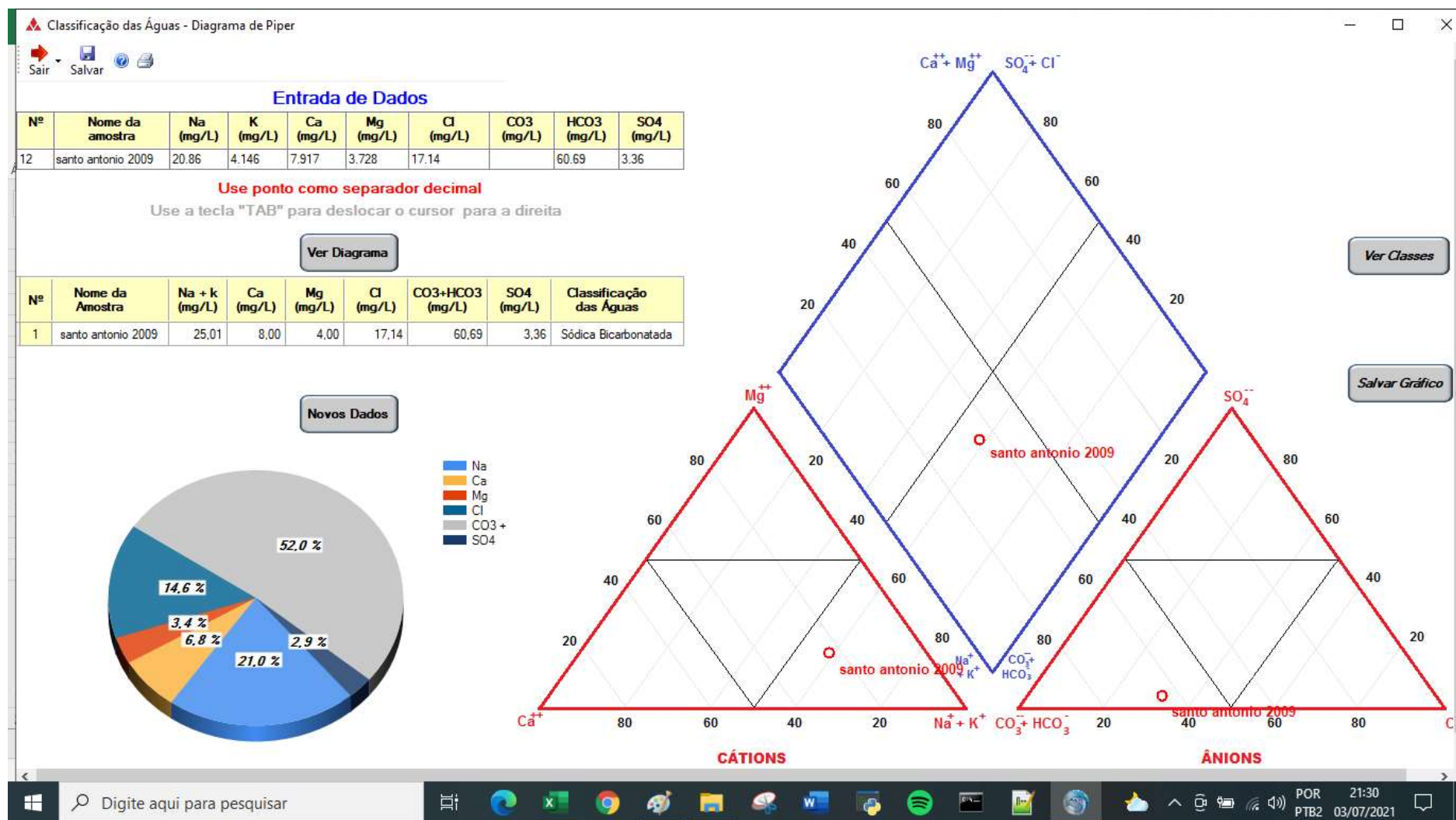


Figura 4.36 – Diagrama de Piper para a Fonte Santo Antonio para o ano de 2013

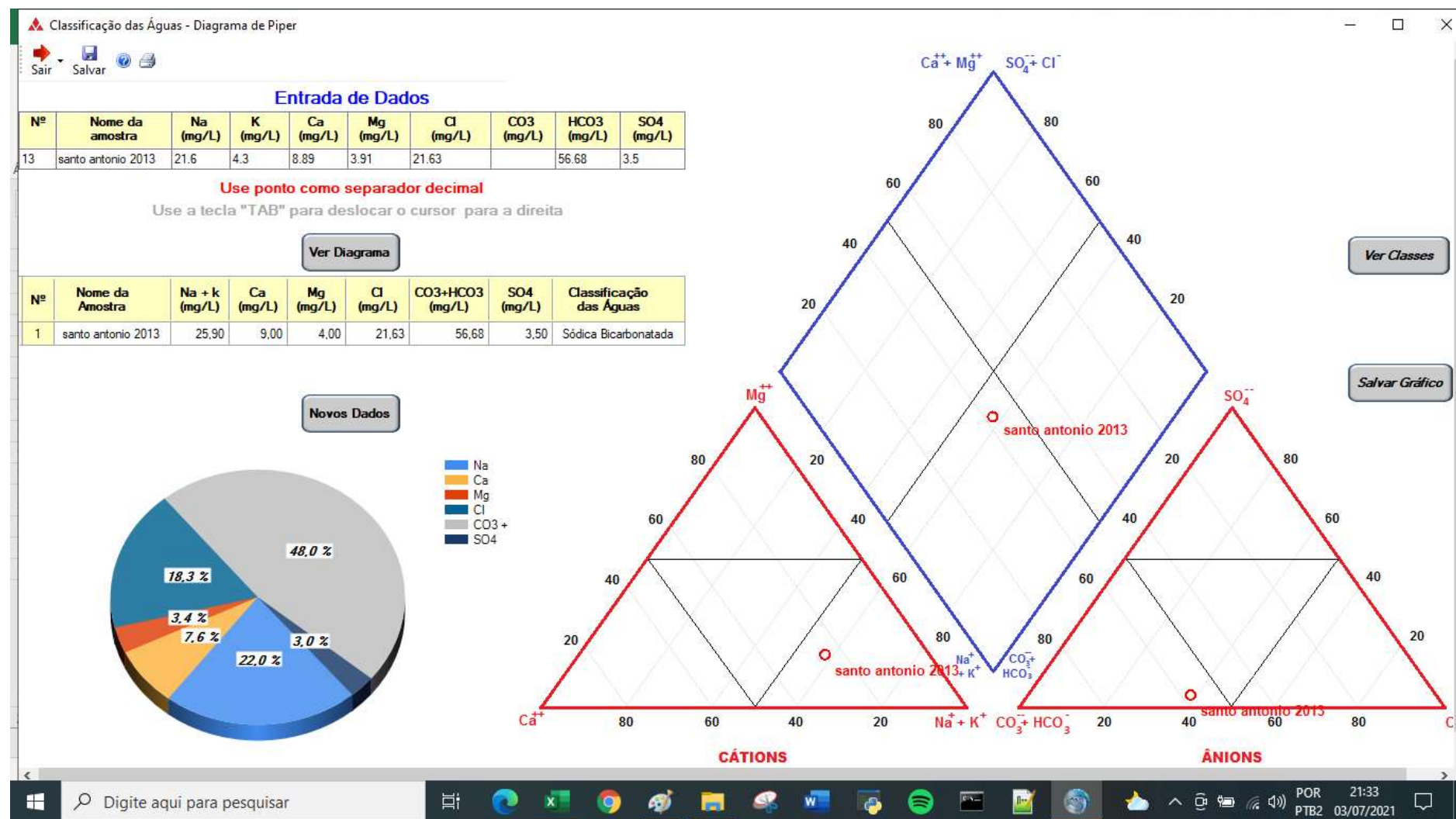


Figura 4.37 – Diagrama de Piper para a Fonte Santo Antonio para o ano de 2016

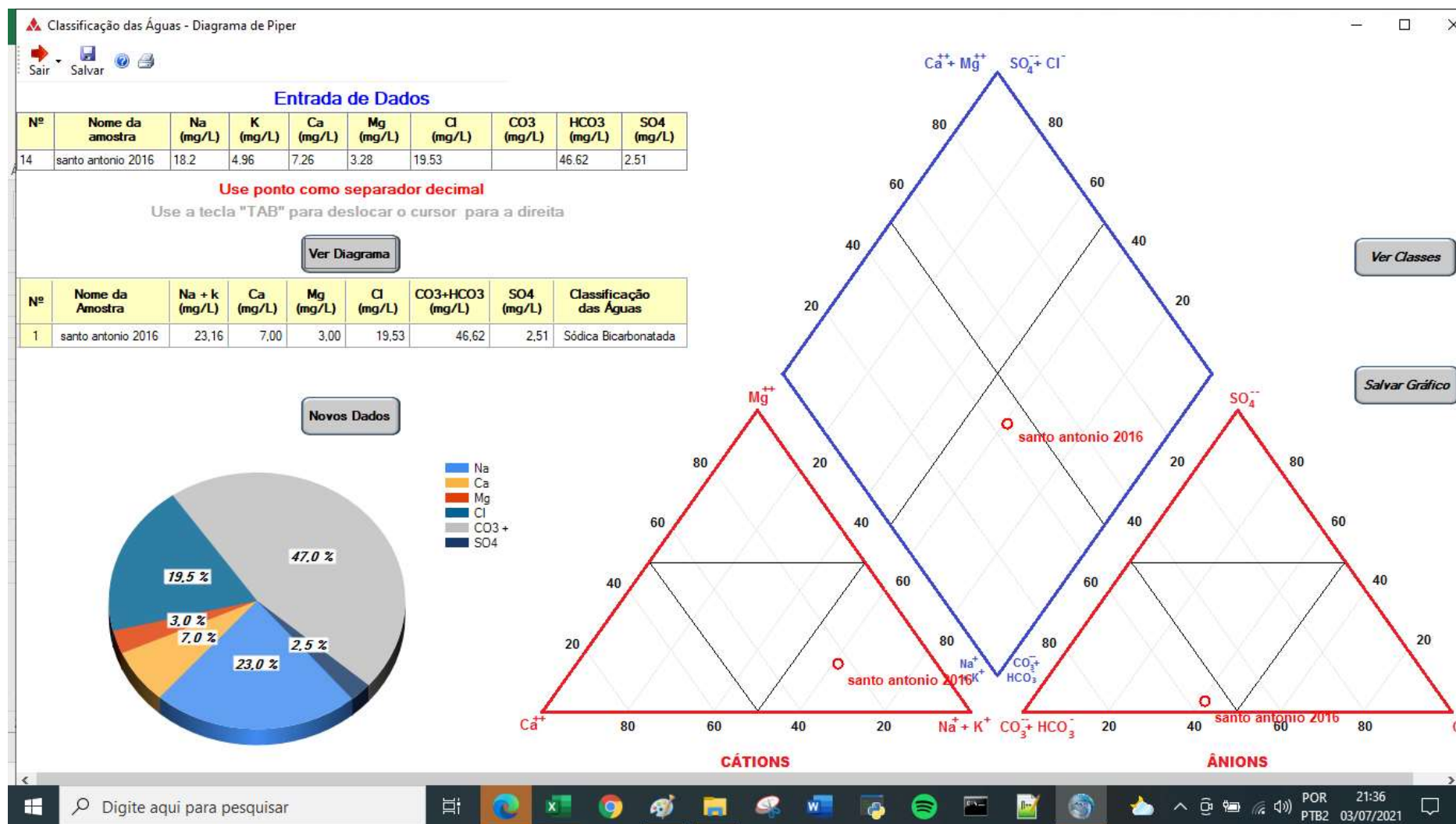


Figura 4.38 – Diagrama de Piper para a Fonte Sonja para o ano de 1986

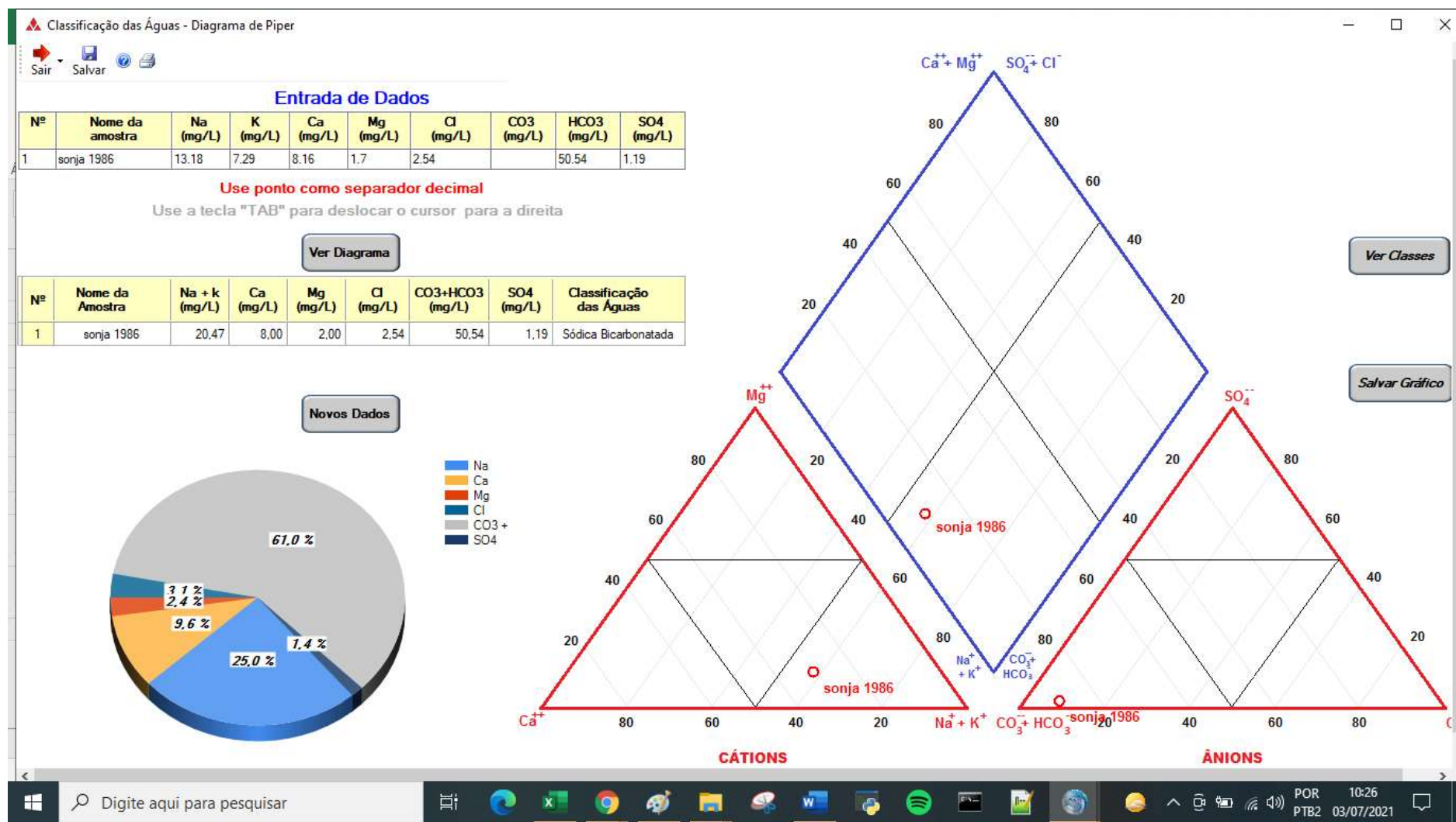


Figura 4.39 – Diagrama de Piper para a Fonte Sonja para o ano de 1997

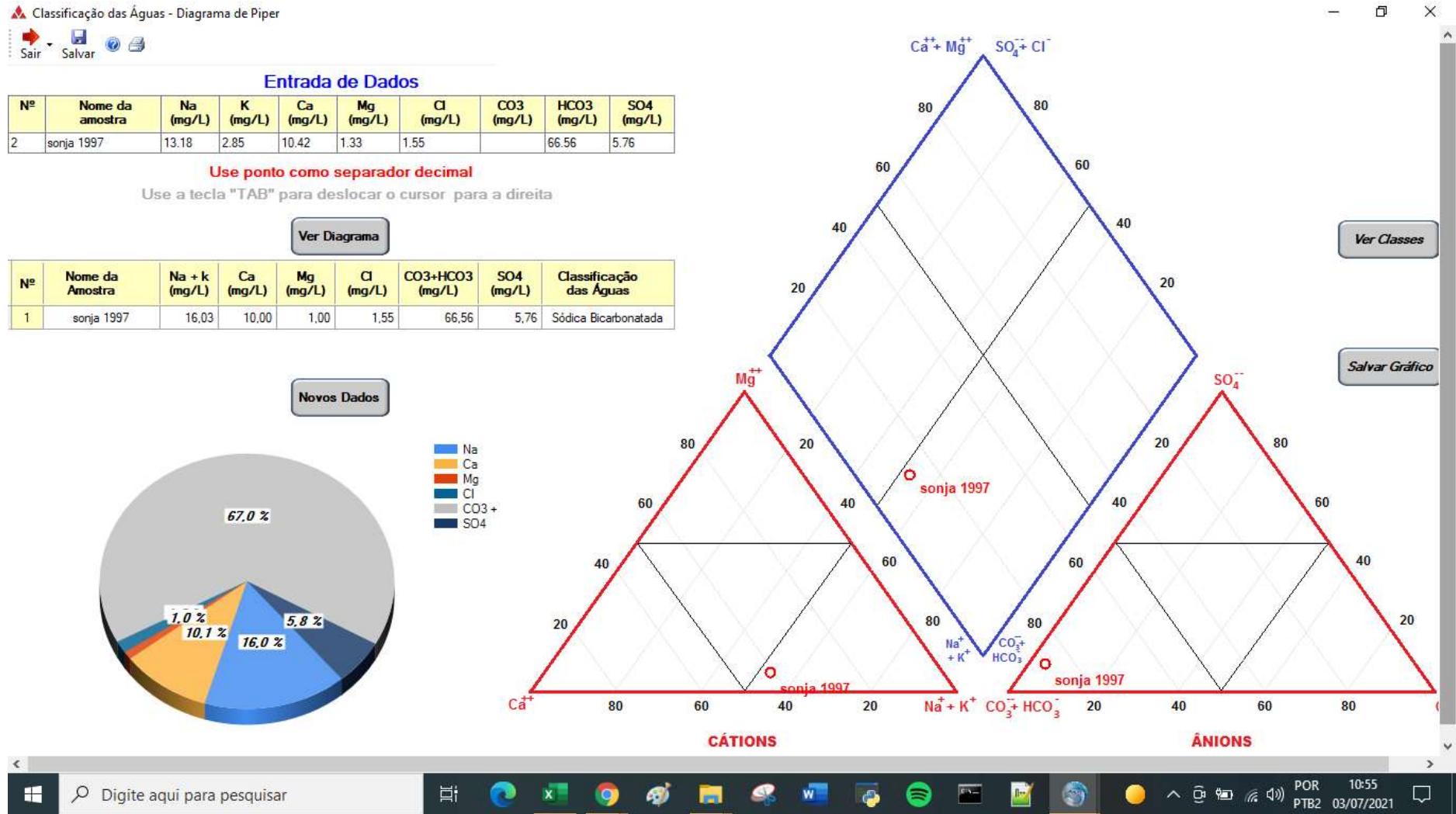


Figura 4.40 – Diagrama de Piper para a Fonte Sonja para o ano de 2000

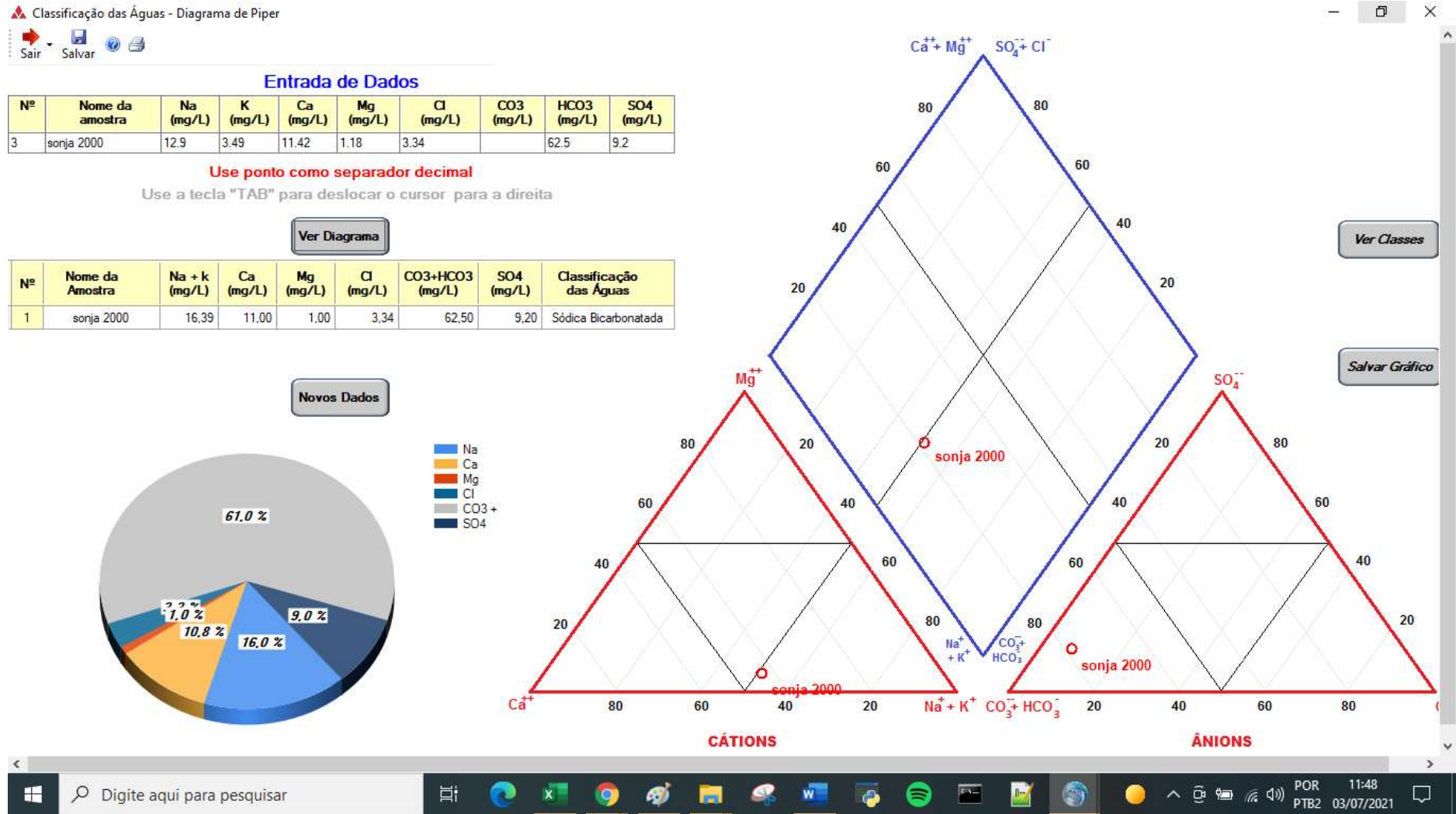


Figura 4.41 – Diagrama de Piper para a Fonte Sonja para o ano de 2006

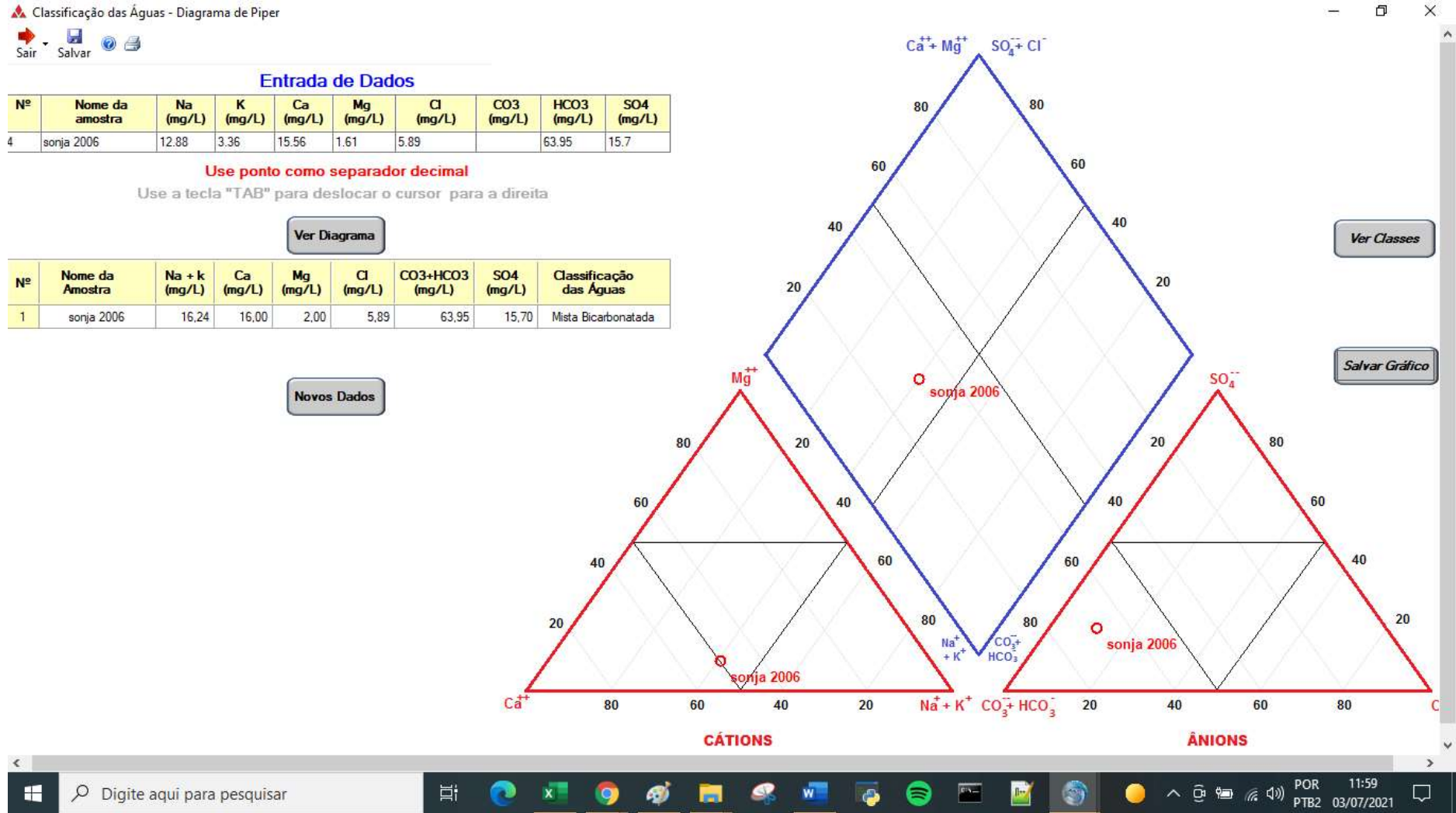


Figura 4.42 – Diagrama de Piper para a Fonte Sonja para o ano de 2010

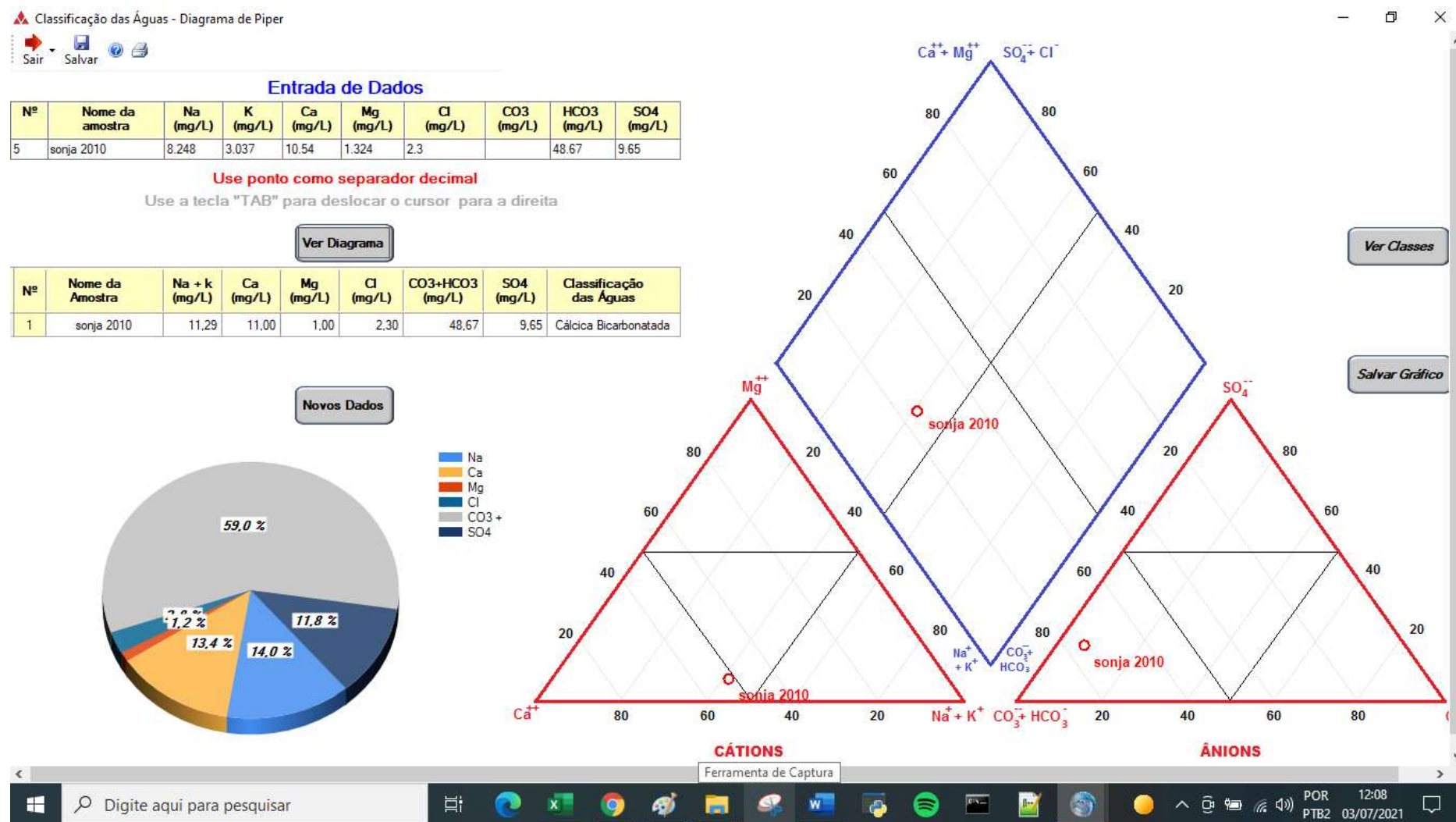


Figura 4.43 – Diagrama de Piper para a Fonte Sonja para o ano de 2013

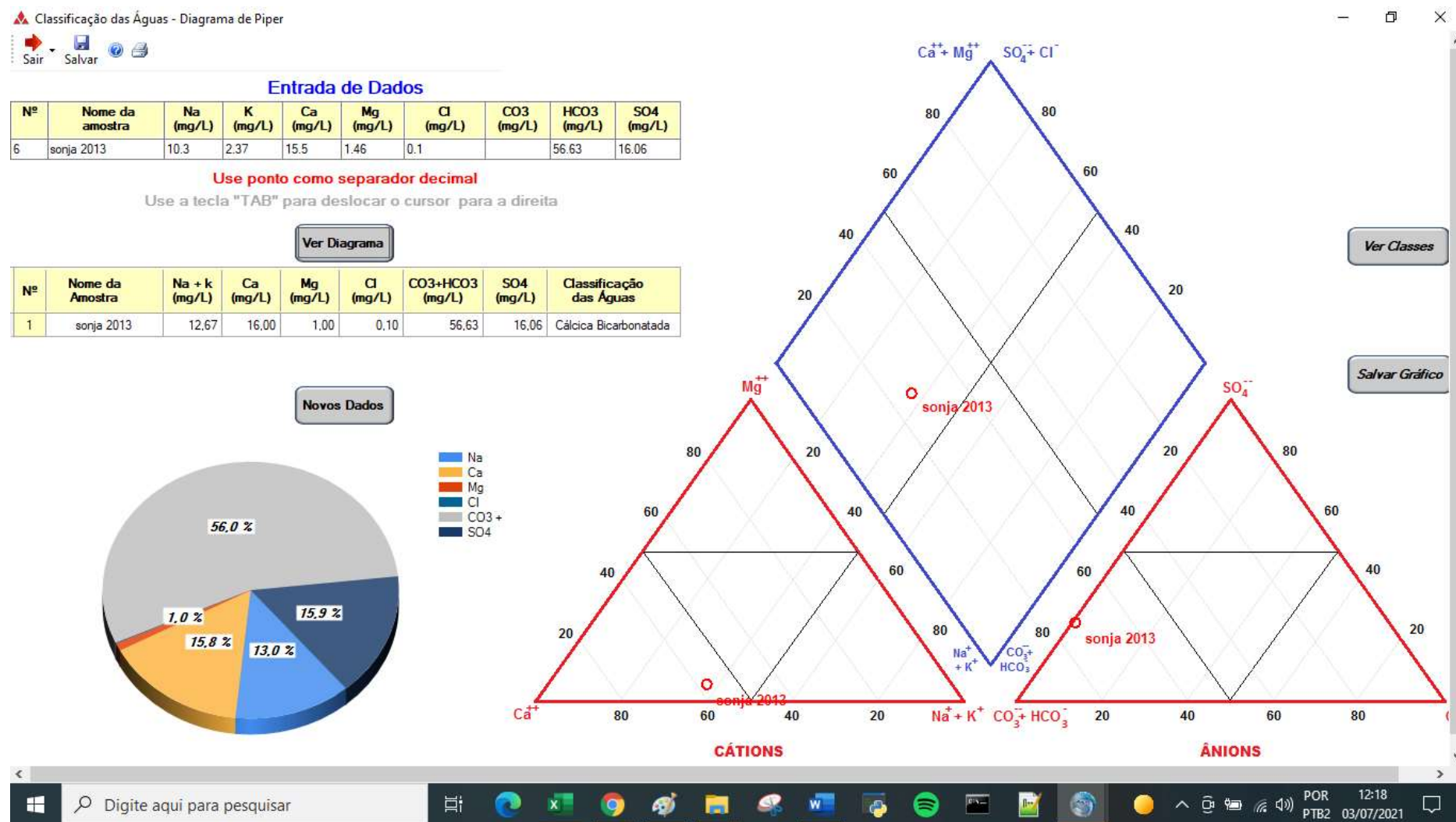


Figura 4.44 – Diagrama de Piper para a Fonte Sonja para o ano de 2016

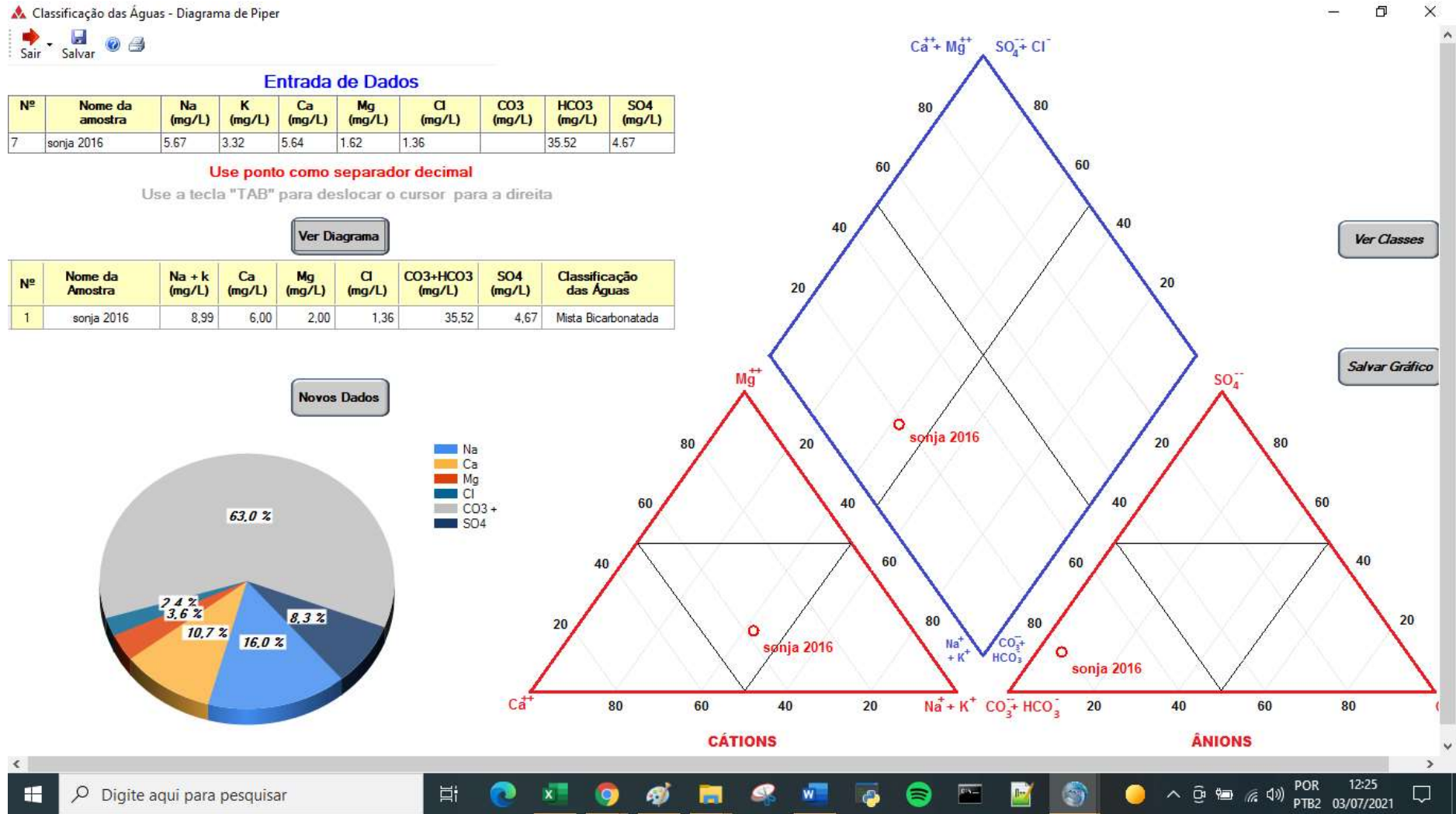


Figura 4.45 – Diagrama de Piper para a Fonte Santa Lúcia para o ano de 2018

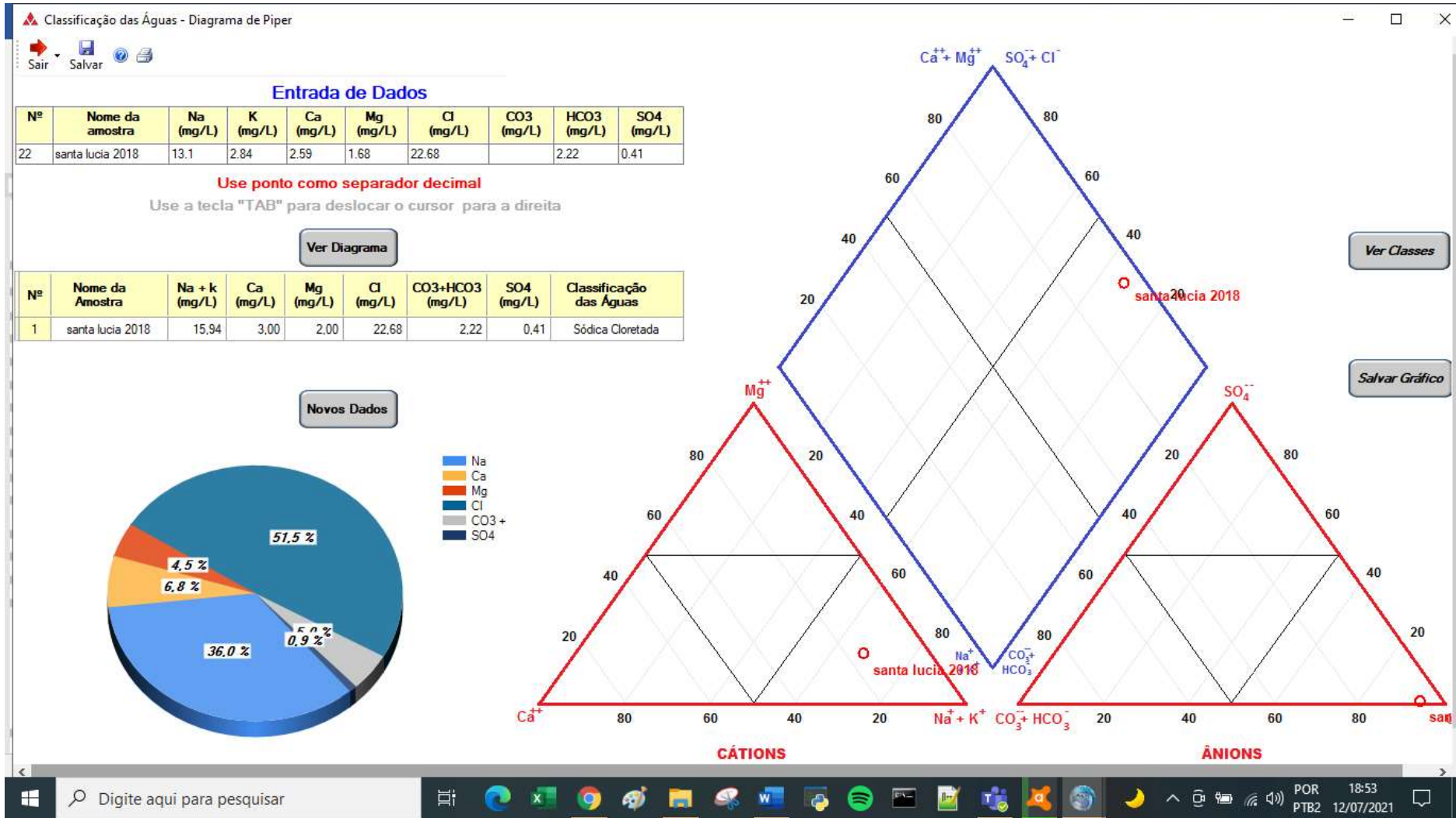


Figura 4.46 – Diagrama de Piper para a Fonte Primavera para o ano de 2017

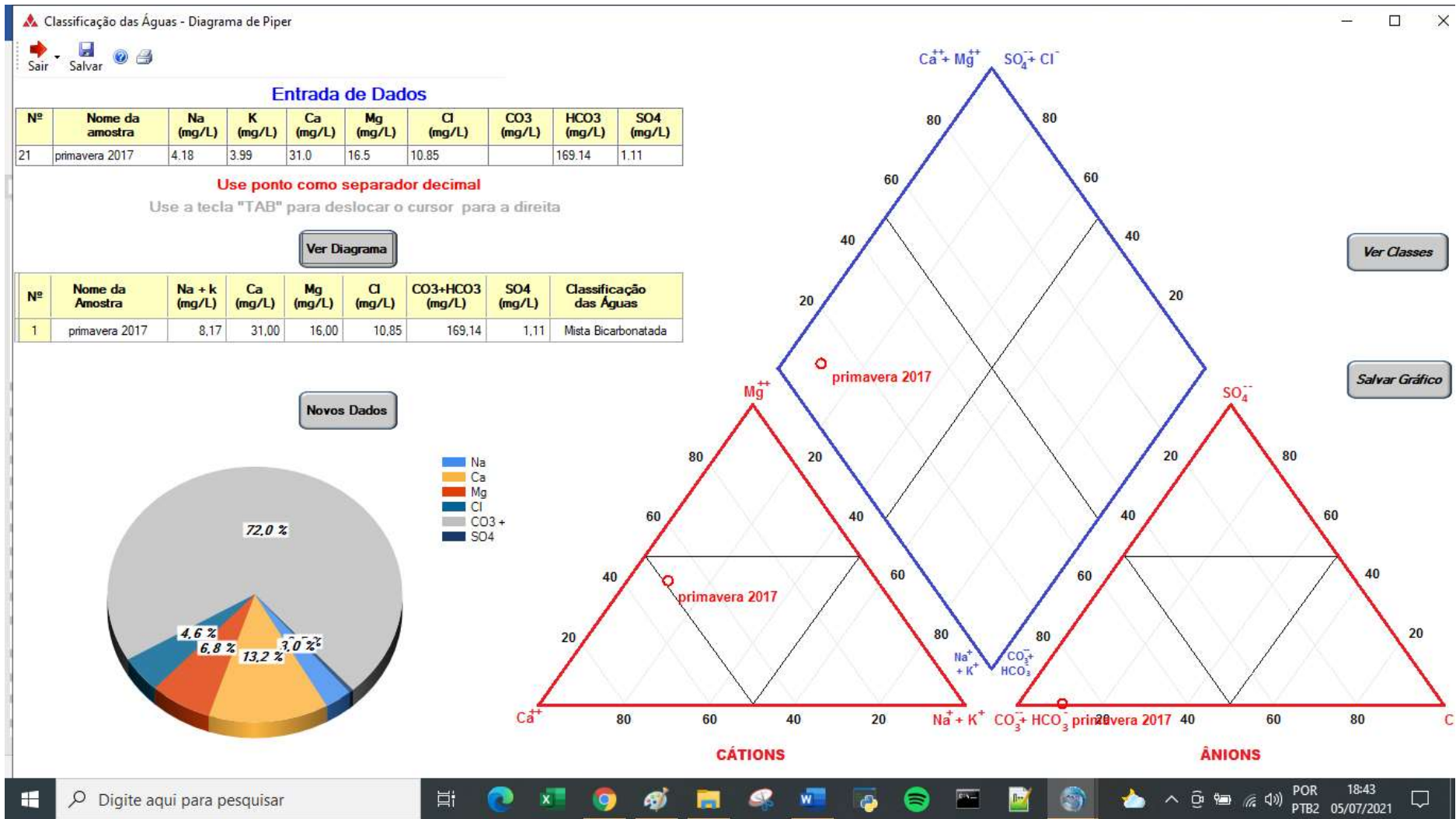


Figura 4.47 – Diagrama de Piper para a Fonte Juliana para o ano de 2010

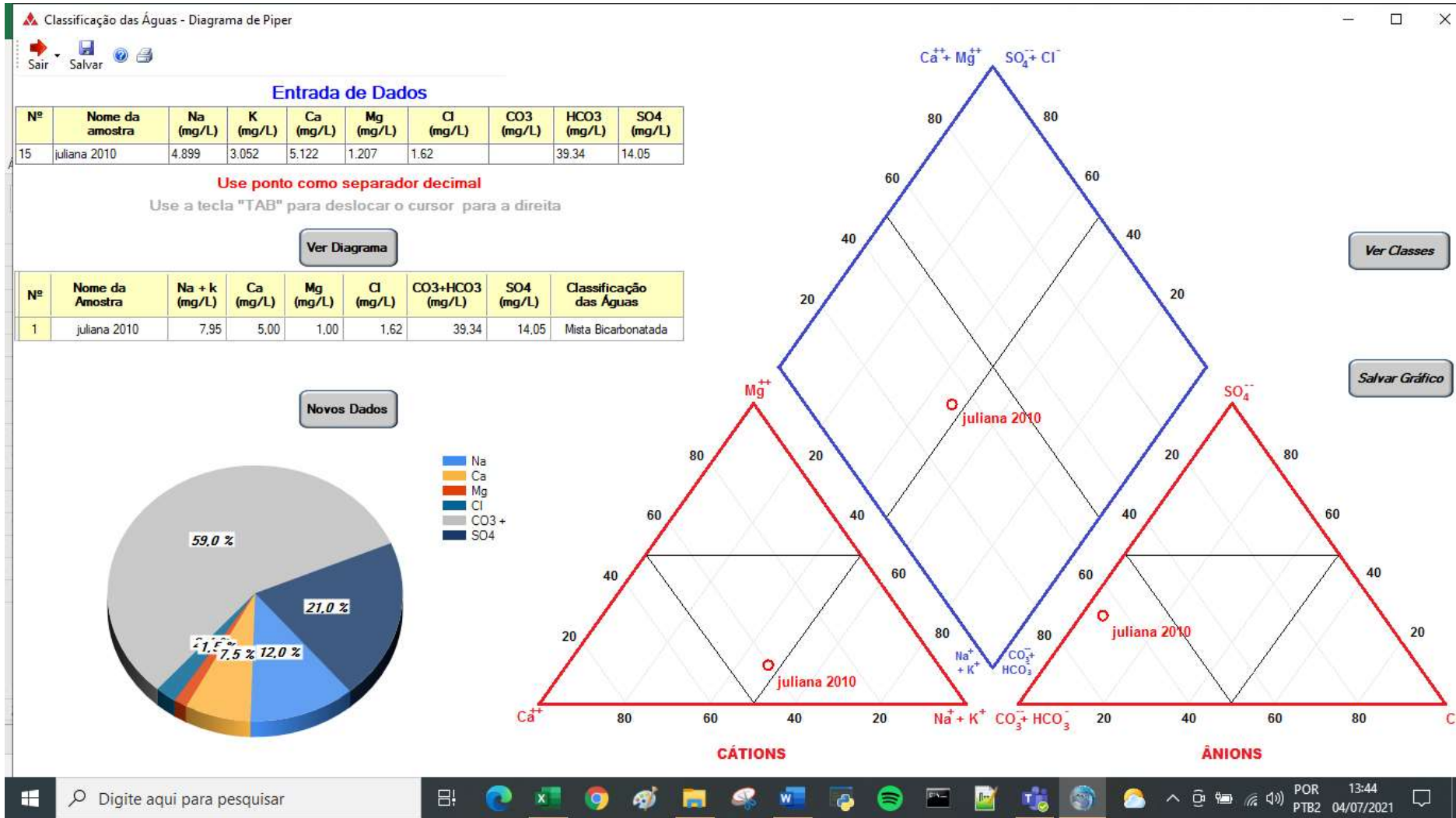


Figura 4.48 – Diagrama de Piper para a Fonte Juliana para o ano de 2014

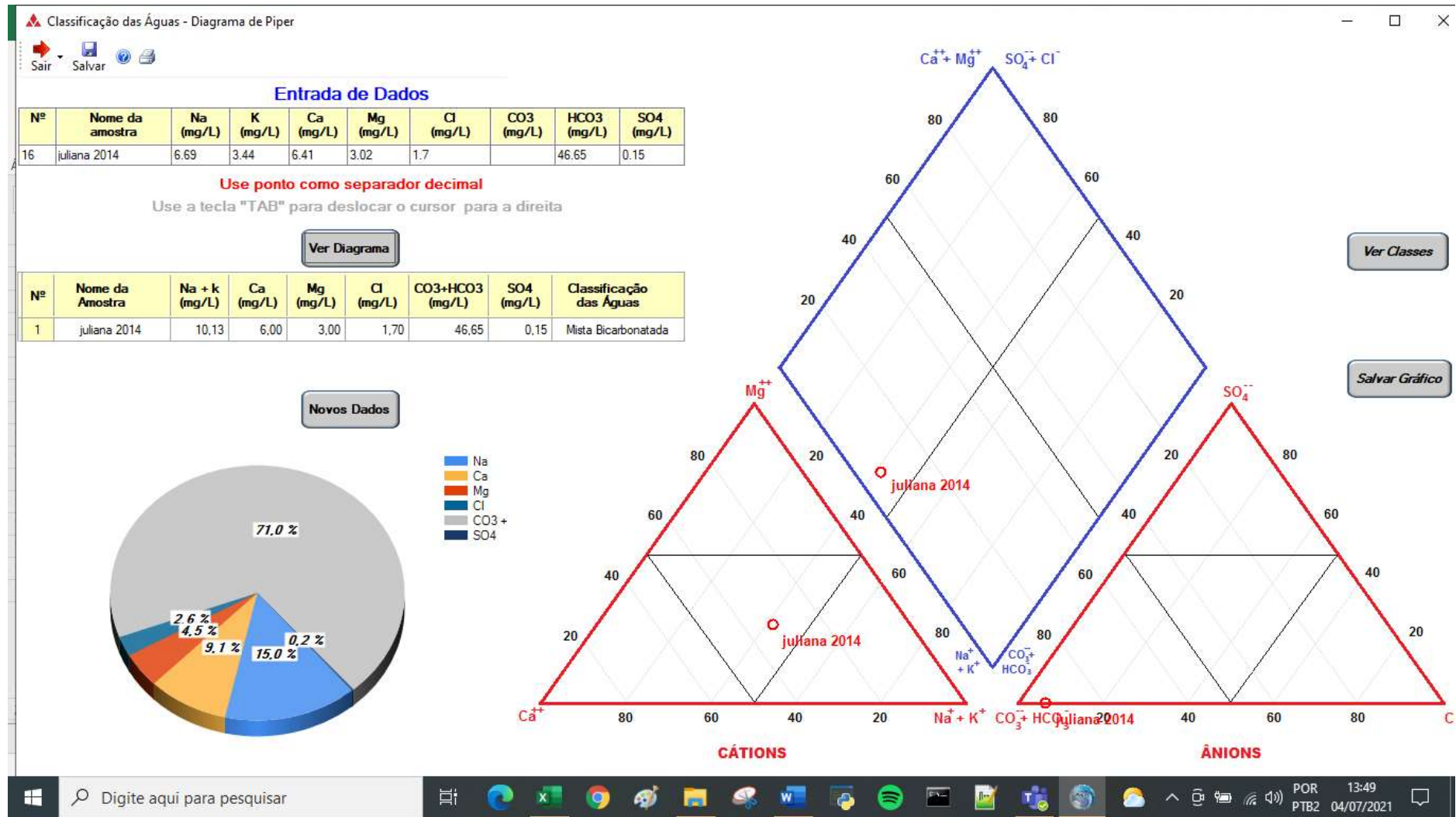


Figura 4.49 – Diagrama de Piper para a Fonte Verônica para o ano de 2010

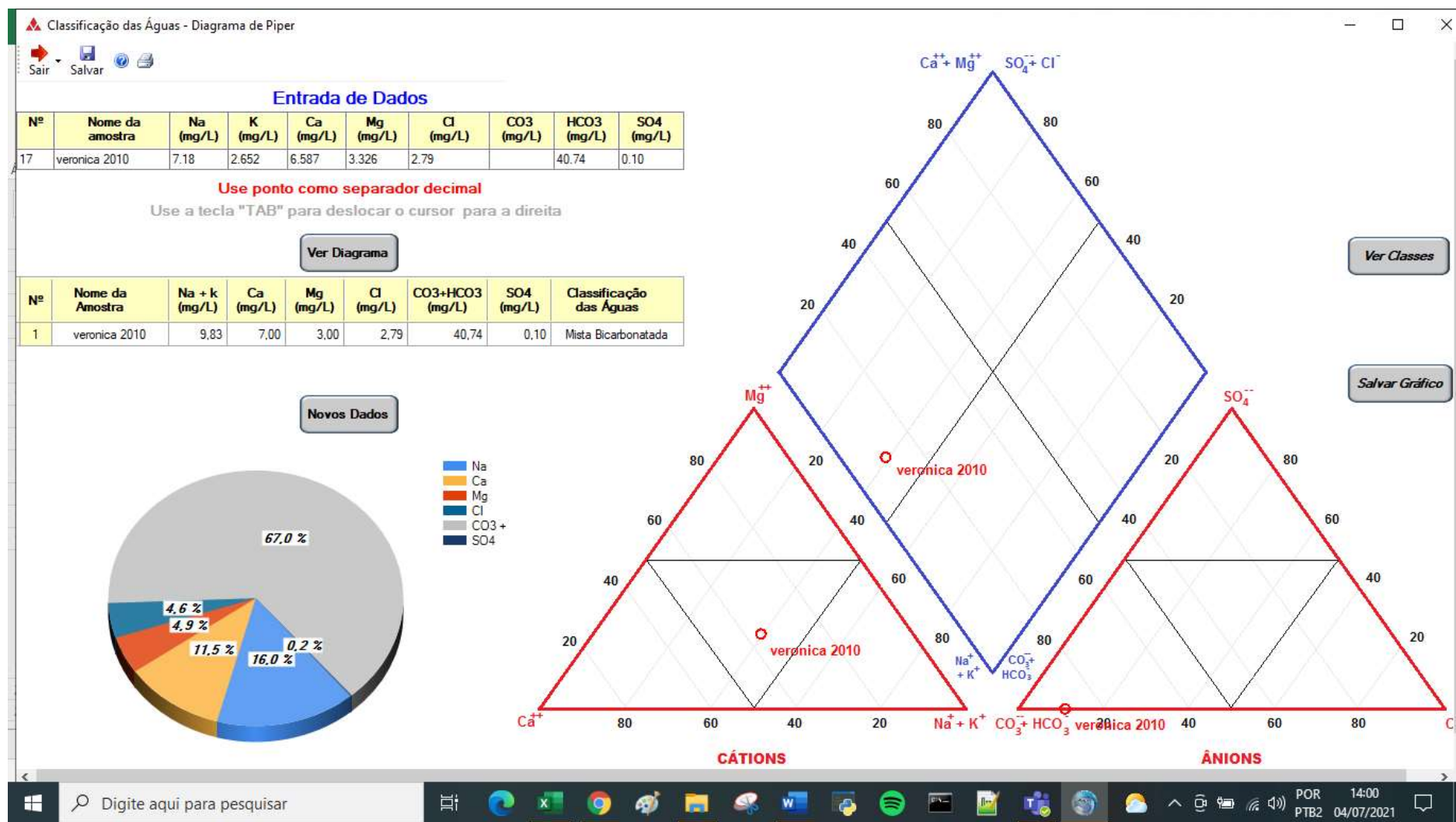


Figura 4.50 – Diagrama de Piper para a Fonte Verônica para o ano de 2014

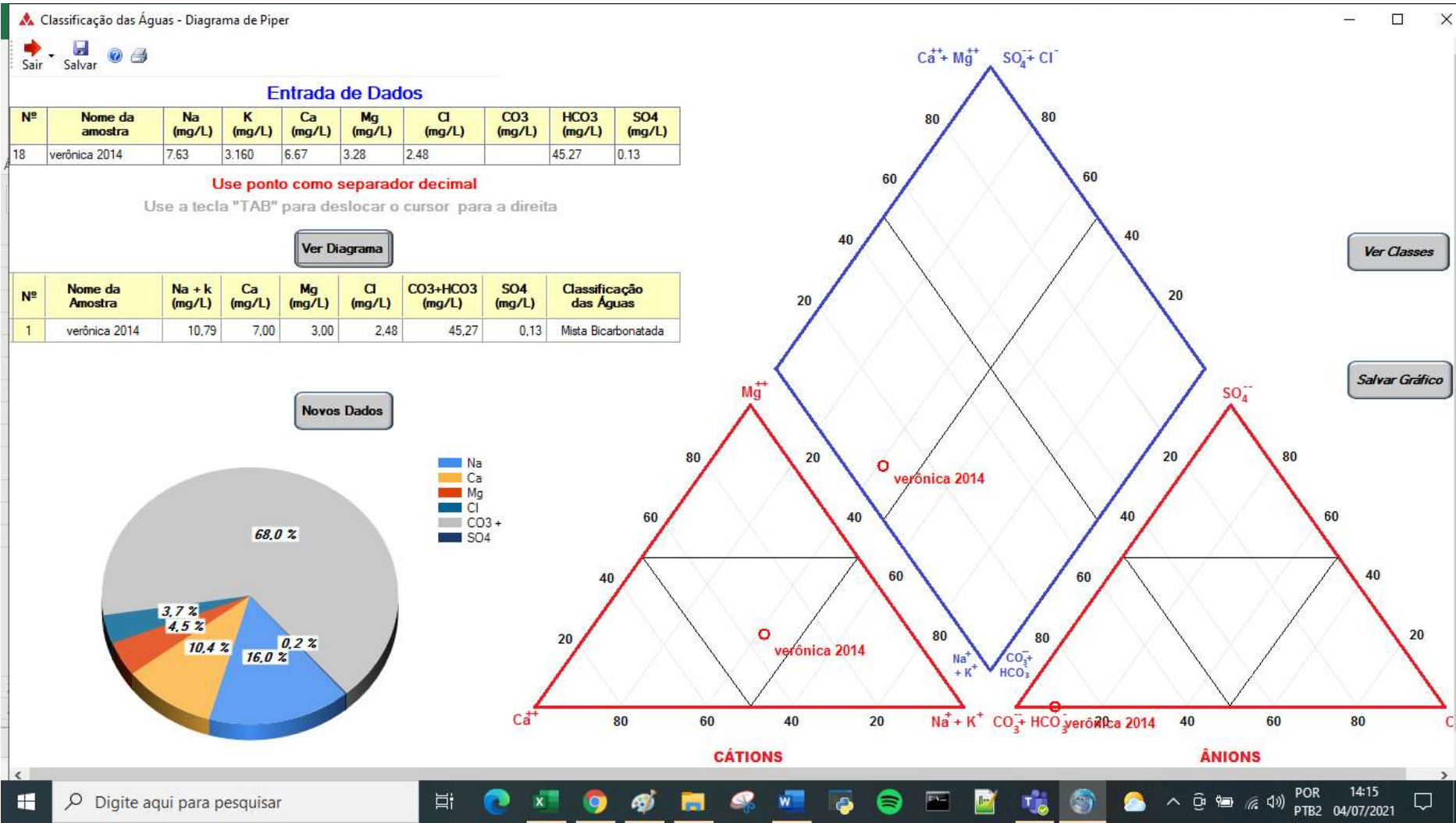


Figura 4.51 – Diagrama de Piper para a Fonte Água Santa para o ano de 2018

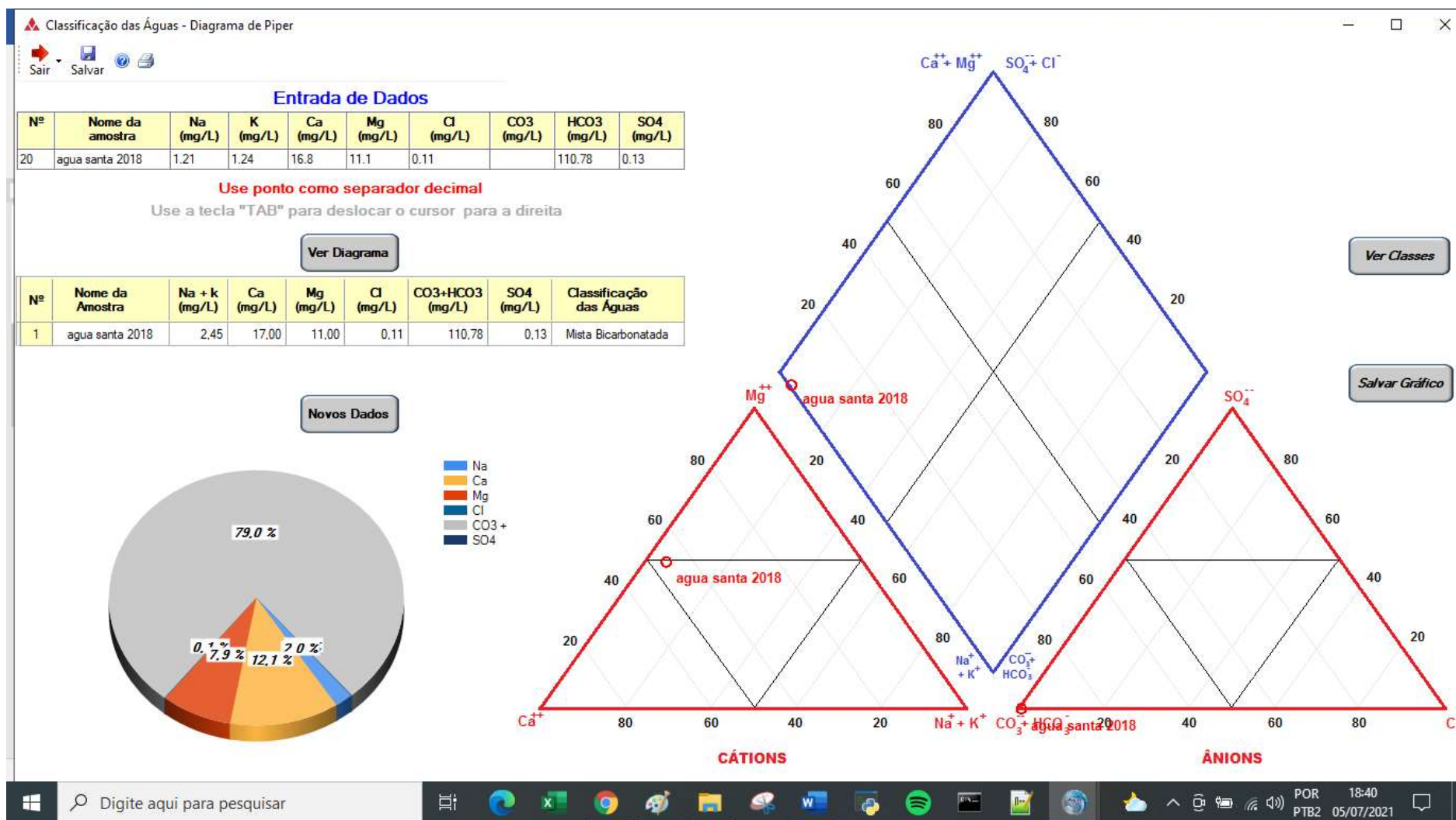


Figura 4.52 – Diagrama de Piper para a Fonte Ycuara para o ano de 2018

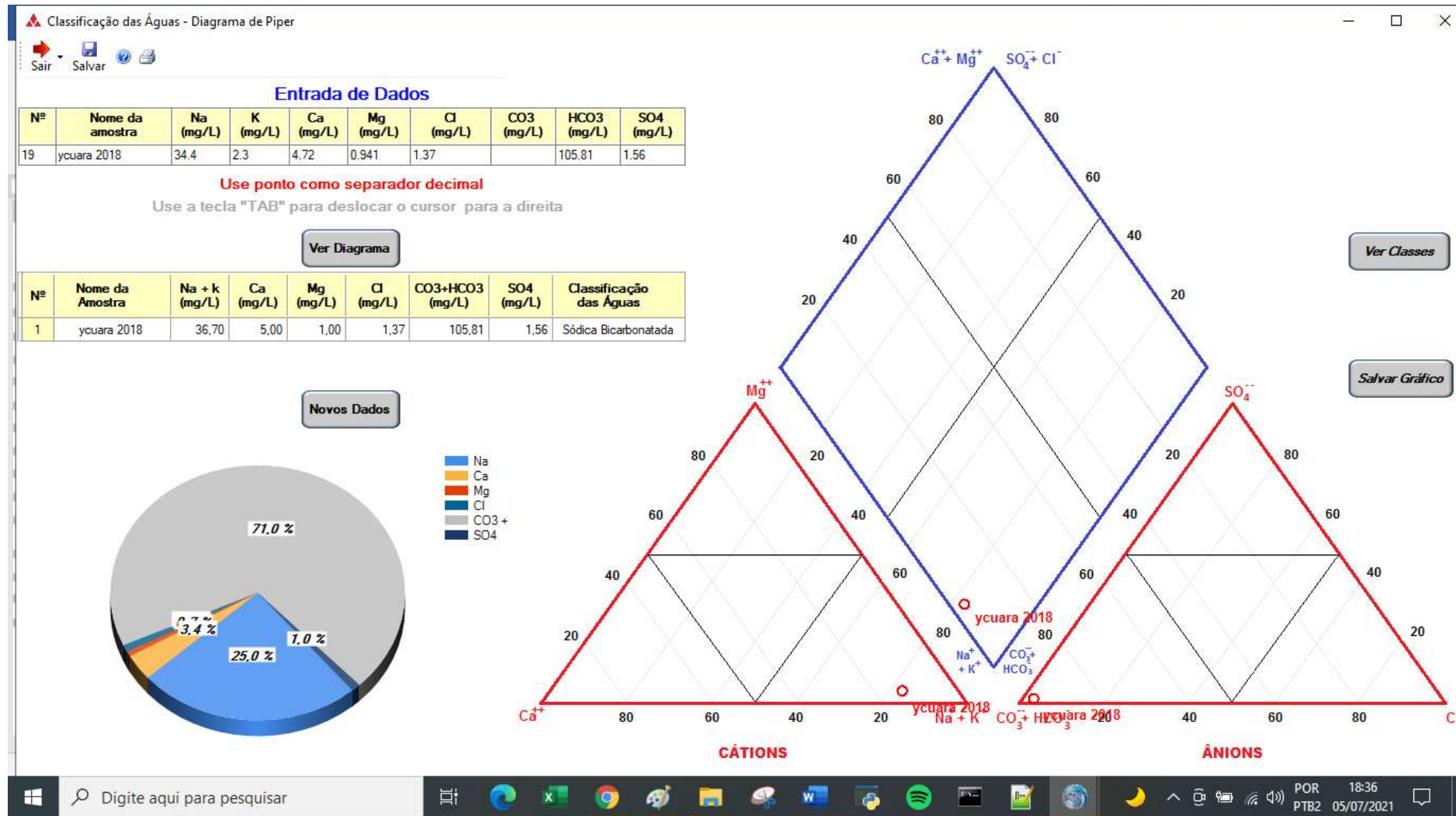


Tabela 4.48 – Classificação segundo Diagrama de Piper e parâmetros com maior grau de correlação

Fonte	Ano da última análise do LAMIN	Ano das análises da tese	Classificação Piper	Pares de Parâmetros com maior grau de correlação
Santo Antonio	2016	2015-2017	Sódica Bicarbonatada	Cálcio e magnésio Alcalinidade e pH
Sonja	2016	2015-2017	Mista bicarbonatada	Cálcio e sódio Cálcio e alcalinidade Sódio e Alcalinidade
Santa Lúcia	2018	2018-2019	Sódica cloretada	Cálcio e cloreto; cloreto e sódio
Primavera	2017	2017-2018	Mista bicarbonatada	Cálcio e magnésio;
Juliana	2014	2016-2017	Mista bicarbonatada	Cálcio e magnésio; Cálcio e sódio; Cálcio e cloreto; Magnésio e cálcio; Magnésio e cloreto; Magnésio e sódio; Alcalinidade bicarbonato e cálcio; Alcalinidade bicarbonato e magnésio; Alcalinidade bicarbonato e cloreto; Alcalinidade bicarbonato e sódio.

Verônica	2014	2016-2017	Mista bicarbonatada	Cálcio e magnésio; Cálcio e sódio; Cálcio e cloreto; Magnésio e cálcio; Magnésio e cloreto; Magnésio e sódio; Alcalinidade bicarbonato e cálcio; Alcalinidade bicarbonato e magnésio; Alcalinidade bicarbonato e cloreto; Alcalinidade bicarbonato e sódio.
Água Santa	2018	2017-2018	Mista bicarbonatada	Cálcio e magnésio
Ycuara	2018	2017-2018	Sódica Bicarbonatada	Sódio e pH

Analisando a tabela 4.48, é possível ver que os elementos que apresentaram maior de grau de correlação foram os elementos que são mencionados na classificação conforme o diagrama de Piper.

Para a Fonte Santo Antonio, cuja água é classificada como sódica bicarbonatada, os elementos que apresentaram maior grau de correlação foram a alcalinidade e o pH. A alcalinidade é influenciada pelo teor de bicarbonato presente na água subterrânea. Excepcionalmente para a Fonte Santo Antonio, o sódio apresentou baixo grau de correlação com os outros parâmetros.

A água da Fonte Sonja é classificada como mista bicarbonatada. Ela apresenta teores parecidos de sódio, potássio e cálcio. Conforme mostra a tabela, os pares de parâmetros que

apresentaram alto grau de correlação foram: o cálcio e sódio; o cálcio e alcalinidade; e a alcalinidade e sódio.

A fonte Santa Lúcia tem sua água classificada como sódica cloretada, os parâmetros que apresentaram o maior grau de correlação foram o cálcio e cloreto, e o cloreto e sódio.

Tanto a água da Fonte Juliana como a água da Fonte Verônica são classificadas como mistas bicarbonatadas segundo o diagrama de Piper. É interessante verificar que os cátions cálcio, sódio e magnésio além de apresentarem alto grau de correlação entre si, também apresentaram alto grau de correlação com os ânions bicarbonato e cloreto.

As fontes Primavera e Água Santa tiveram suas águas classificadas como mistas bicarbonatadas. Para essas fontes os cátions magnésio e cálcio foram os únicos que apresentaram alto grau de correlação entre si.

A água da Fonte Ycuara foi classificada como sódica bicarbonatada, os pares de parâmetros que apresentaram maior grau de correlação foi o sódio e o pH.

No caso das 8 fontes mencionadas anteriormente, pode-se concluir que a correlação entre os parâmetros é explicada pela classificação do Diagrama de Piper, ou seja, os íons que tiverem maior porcentagem em massa na composição da água subterrânea tenderão a apresentar os maiores coeficientes de correlação.

A correlação dos parâmetros de qualidade da água subterrânea é explicada pelos constituintes principais da água que são os ânions e cátions que compõem o Diagrama de Piper, para as oito fontes em questão a porcentagem dos ânions e cátions variou, e com isso a classificação do Diagrama de Piper não foi igual para todas as fontes. Logo, compreende-se o porquê de cada fonte de água mineral ter apresentado pares de parâmetros diferentes que possui o coeficiente de correlação maior que 0,71.

Portanto, recomenda-se o uso tanto da matriz de correlação em conjunto com o Diagrama de Piper para se compreender a correlação entre os parâmetros de qualidade da água subterrânea.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

5.1 Contribuições e objetivos alcançados

A meta desse trabalho era a criação de um protocolo que permitisse estudar a variabilidade dos parâmetros de qualidade de diversas fontes de águas minerais e determinar através do uso da variância de extensão a melhor frequência de amostragem para os parâmetros das fontes.

Essa meta foi atingida durante a presente tese. Foram realizadas uma quantidade de análises que permitiram obter um banco de dados robusto dos parâmetros das fontes. Para os parâmetros químicos e físico-químicos chegou-se ao valor de 128 dias (aproximadamente 4 meses) como sendo a melhor frequência de amostragem, que garantisse que a média dos parâmetros amostrados mais os erros de amostragem relativos à média estivessem na faixa de valores estabelecidos na legislação vigente.

Para os parâmetros microbiológicos foi determinado que o intervalo ideal de amostragem seria de dois dias com base nos resultados obtidos para as Bactérias Heterotróficas.

Foi possível entender a correlação entre os parâmetros químicos e físico-químicos das águas minerais com base na sua classificação pelo Diagrama de Piper.

Também foi possível determinar o número mínimo de amostras a ser coletado para as fontes de forma a minimizar o erro de amostragem.

Foi possível realizar o teste de heterogeneidade de Pierre Gy e confirmou-se que o melhor intervalo de coleta era igual a 4 meses.

No presente trabalho foi possível realizar análises de diversas fontes do mesmo aquífero tanto para as análises químicas e físico-químicas como para as análises microbiológicas, isso fez com que os resultados fossem mais conclusivos com relação à aplicabilidade da variância de extensão na amostragem das águas minerais.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Em virtude da variabilidade da qualidade das águas minerais brasileiras, recomenda-se que sejam realizadas mais análises para os elementos que classificam as águas minerais e que são dignos de nota nos rótulos das embalagens, com base nos critérios de classificação química e classificação quanto aos gases mostrados nas tabelas 2.1 e 2.2.

Faz-se necessário a realização de análises microbiológicas quantitativas em conjunto com as análises químicas realizadas nessa tese, para que se possa entender a correlação existente entre os parâmetros químicos e os parâmetros microbiológicos das amostras coletadas de uma determinada fonte.

Assim como estudou-se a dependência temporal dos parâmetros químicos e físico-químicos para as fontes, para que se determinasse o melhor intervalo de amostragem, há a necessidade de averiguar se há correlações com os parâmetros microbiológicos da água envasada. Ao estudar os parâmetros químicos, físico-químicos e microbiológicos de fontes que pertençam ao mesmo aquífero, poder-se-á determinar um intervalo de coleta que atenda aos critérios de potabilidade para esses três tipos de parâmetros.

Sugere-se também que se realizem campanhas de amostragem não somente para a água envasada, mas também para água proveniente de torneiras e bebedouros. Há diferenças quanto aos valores mínimo e máximo permitido para as águas provenientes do abastecimento público e para as águas minerais envasadas. Seria muito interessante poder comparar os melhores intervalos de coleta para os parâmetros de qualidade de água de fontes distintas, e no caso de haver disparidades quanto ao melhor intervalo de coleta, poder entender o porquê dessas diferenças.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAS. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. 2021. Disponível em: <https://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/>. Acesso em 15 de julho de 2021.
- ABZALOV, M. Z. Geostatistical approach to the estimation of sampling precision, Proceedings of 5th World Conference on Sampling and Blending (WCSB5), Santiago, Chile. 2011.
- AGTERBERG, F. P. Georges Matheron – Founder of Spatial Statistics. In: **Proceedings of the International Association for Mathematical Geology**, 2003.
- ARMSTRONG, M. **Basic linear geostatistics**. Springer, 1998. 153 p. ISBN 3-340-61845-7
- ARTES, R. **Medidas de Forma de Assimetria**. Coeficiente de Assimetria. Notas de Aula, Insper, 2014. Disponível em: https://www.insper.edu.br/docentes/rinaldo-artes/wp-content/uploads/sites/14/2014/09/Medidas-de-forma-Assimetria_2014.pdf. Acesso em 04 de novembro de 2020.
- AUBERT, A.H., GASCUEL-ODOUX, C., GRUAU, G., AKKAL, N., FAUCHEUX, M., FAUVEL, Y., GRIMALDI, C., HAMON, Y., JAFFRÉZIC, A., LECOZ-BOUTINIK, M., MOLÉNAT, J., PETITJEAN, P., RUIZ, L., MEROT, P., 2013. Solute transport dynamics in small, shallow groundwater-dominated agricultural catchments: insights from a high frequency, multisolute 10 yr-long monitoring study. **Hydrol. Earth Syst. Sci.** 17, 1379–1391, <http://dx.doi.org/10.1021/es403723r>.
- BASSANI, R. S. **Uso de Dados de Diferente Suporte em Geoestatística e Desenvolvimentos em Simulação Geoestatística Multivariada**. 181 p. Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGE3M) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia. Porto Alegre, 2018.
- BEG, M.K. 2009 Geospatial analysis of fluoride contamination in ground water of Tamnar Area, Raigarh District, Chhattisgarh State, Thesis submitted in ITC and IIRS.
- BERTOLANI, F. C.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. (Spatial variability in the infiltration's rate and the thickness of horizon B, in the red-yellow ultisol, under different uses). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 4, p. 987-995, 2001.

BETTU, D. F.; SOARES, P. C. Interpretação Geomorfométrica de Parâmetros Variográficos do Relevo (Geomorphometrical Interpretation of Variographical Parameters of Relief.) **Geociências (São Paulo)**, UNESP, São Paulo, v. 32, n. 1, 2013. Disponível em: http://ppegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-90822013000100009&lng=pt&nrm=iso . Acesso em 05 de janeiro de 2015.

BICALHO, B.C. D. **Modelos Espaço-Temporais: Estudo de Casos.** (Spatial-time models). 2008. 176 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Estatística). Departamento de Estatística do Instituto de Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2008.

BITTENCOURT, H. R.; VIALI, L. Contribuições para o Ensino da Distribuição Normal ou Curva de Gauss em Cursos de Graduação. **In: Seminário Internacional de Pesquisa em Educação Matemática** SIPEM. 3. 11-14 de out. 2006, Águas de Lindoia, São Paulo, Brasil.

BOY-ROURA, M.; MENCIO, A.; MAS-PLA, J. Temporal analysis of spring water data to assess nitrate inputs to groundwater in an agricultural area (Osona, NE Spain). **Science of the Total Environment**, 2013, 452-453:433-445. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.02.065. Disponível em: <https://mon.uvic.cat/tlc/files/2013/04/merce-boy-udg-abril-13.pdf>. Acesso em 20 de setembro de 2020.

BRASIL. ANM – Agência Nacional de Mineração. Decreto-Lei nº 7841 - de 8 de agosto 1945 Código de Águas Minerais. Brasília, 1945. Disponível em: https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/TematicaAction.php?acao=abrirVinculos&cotematica=10059295&cod_menu=6783&cod_modulo=405. Acesso em 12 de novembro de 2020.

BRASIL. ANM – Agência Nacional de Mineração. Portaria SEI nº 32 - de 29 de janeiro 2019 Brasília, 2019. Disponível em: https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/TematicaAction.php?acao=abrirVinculos&cotematica=10059297&cod_menu=6783&cod_modulo=405. Acesso em 12 de novembro de 2020.

BRASIL. Departamento de Produção Mineral – DNPM. (National Department of Mineral Production). **Portaria nº 540**, de 18/12/2014, DOU de 19/12/2014. Brasília, DF: DNPM, 2014. Estabelece limites mínimos dos elementos dignos de nota, para a classificação das Águas Minerais. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=760>. Acesso em 22 de janeiro de 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. (Healthy Ministry). **Portaria MS nº 2914**, de 12/12/2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância SANITÁRIA – ANVISA. (Healthy Ministry – National Agency of Sanitary Surveillance). **RDC nº. 274**, de 22 de setembro de 2005. Brasília, 2005. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/9b898900474592b89b15df3fbc4c6735/RDC_274_2005.pdf?MOD=AJPERES. Acesso em 22 de janeiro de 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. (Healthy Ministry). **Portaria MS nº 275**, de 21/10/2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos. Brasília, DF, 2002. Disponível em <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/dcf7a900474576fa84cfd43fbc4c6735/RDC+N%C2%BA+275,+DE+21+DE+OUTUBRO+DE+2002.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em 22 de janeiro de 2015.

BRASIL. Serviço Geológico do Brasil. CPRM. 2018. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Noticias/Estudantes-de-Medicina-recebem-capacitacao-em-Geologia-Medica-por-pesquisadores-do-SGB%7CCPRM-5259.html>. Acesso em 06 de maio de 2021.

BRASIL. Serviço Geológico do Brasil. CPRM. 2019. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Laboratorios-de-Analises-Minerais---Rede-LAMIN/Definicao-e-Classificacao-Brasileiras-3518.html>. Acesso em 06 de maio de 2021.

CAMARGO, E. C. G. **Geoestatística: fundamentos e aplicações. Geoprocessamento para projetos ambientais. (Geostatistics: fundamentals and applications. Geoprocessing to environmental projects)**. São José dos Campos: INPE, 1998, 36 p.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (Technology Company of Environmental Sanitation). **Norma Técnica L5. 403**. Clostridium perfringens: determinação em amostras de água pela técnica de membrana filtrante - método de ensaio. 23 pp, 2004. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/servicos/normas/vigentes/L5.403_Clostridium%20perfringens%20determina%C3%A7%C3%A3o%20em%20amostras%20de%20%C3%A1g

ua%20pela%20t%C3%A9cnica%20de%20membrana%20filtrant.pdf. Acesso em 24 de janeiro de 2015.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (Technology Company of Environmental Sanitation). **Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo 2016-2018 [recurso eletrônico]. (Quality of Underground Waters from São Paulo state 2016-2018 [electronic resource].** /CETESB; Equipe Técnica: Rosângela Pacini Modesto... [et al.] – 291 pp, São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2019/10/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Subterr%C3%A2neas-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2016-2018.pdf>

Acesso em: 13 de outubro de 2019.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (Technology Company of Environmental Sanitation). **Águas Subterrâneas.** 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/programa-de-monitoramento/consulta-por-aquiferos-monitorados/>. Acesso em: 15 de julho de 2021.

CHILÈS, J. P.; DELFINER, P. **Geostatistics: modelling spatial uncertainty.** John Wiley & Sons, 2012, 2nd Edition.

CHRISTAKOS, G. **Modern spatiotemporal geostatistics.** Courier Dover Publications, 2012. 304 pp.

CHILÈS, J. P.; DELFINER, P. **Geostatistics: modelling spatial uncertainty.** John Wiley & Sons, 2012, 2nd Edition.

Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande – CBH Grande. Disponível em: <https://www.cbhgrande.org.br/bacia>. Acesso em 15 de outubro de 2018.

COSTA, V. L.; MARIA, I. C. D.; CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R.; MELO, L.C. A. Spatial distribution of phosphorus in an Oxisol amended with sewage sludge and mineral fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 287-293, 2014.

COSTA, J. F. L.; SOUZA, V. C. G. **Variografia, incluindo Variância de Extensão na Amostragem: Vantagens e Limitações.** 42 p. N° PROJETO: 32927 – UFRGS - PROJETO DE PESQUISA -RELATÓRIO FINAL. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGE3M) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018.

CRUZ JUNIOR, Antônio Camilo; REMACRE, Armando Zaupa. Impacto do efeito suporte e do efeito informação sobre a recuperação de reservas. **Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto**,

v. 54, n. 2, p. 137-142, June 2001. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672001000200011&lng=en&nrm=iso>. access on 11 Oct. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672001000200011>.

CUNHA, L. S. **Assimetria e Curtose**. Estatística Econômica. Notas de aula. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, Paraná, 2017. Disponível em: [http://www.uel.br/pessoal/lscunha/pages/arquivos/uel/Economia%20Noturno/Aula%206%20-%20Assimetria%20e%20Curtose\(1\).pdf](http://www.uel.br/pessoal/lscunha/pages/arquivos/uel/Economia%20Noturno/Aula%206%20-%20Assimetria%20e%20Curtose(1).pdf). Acesso em 04 de novembro de 2020.

DAMASCENO, M. B.; SOUZA, R. F.; DINIZ FILHO, J. B.; CASTRO, V. L. L. Caracterização hidroquímica de águas superficiais dos rios Guajiru e do Mudo, Bacia Hidrográfica do rio Doce, Nordeste do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 48, n. 1, p. e102566, abr. 2021. ISSN 1807-9806. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/102566>>. Acesso em: 17 jul. 2021. doi:<https://doi.org/10.22456/1807-9806.102566>.

DEUTSCH, C. V.; JOURNAL, A. G. **GSLIB Geostatistical Software and User's Guide**: Oxford University Press, New York, 1998, 369 pp.

DEVEREL, S. J. Geostatistical and principal-component analyses of groundwater chemistry and soil-salinity data, San Joaquin Valley., California. **Regional Characterization of Water Quality (Proceedings of the Baltimore Symposium)**. IAHS, Estados Unidos, Publicação n° 182, p. 11-18, May 1989.

DEVORE, J. L. Probabilidade e Estatística: para Engenharia e Ciências. [Trad. SILVA, J. P. N.]. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

DOMINGUES, V. O. et al. Contagem de bactérias heterotróficas na água para consumo humano. **Rev. Saúde, Santa Maria**, v. 33, n. 1, p. 15-19, 2007.

FARBER, L.; LARSON, R. **Estatística Aplicada**. 6ª Edição, Editora Pearson, 2015.

FUNCEME, Qualigraf ®. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2015. Disponível em: <http://www3.funceme.br/qualigraf/mi/midia/show/3>. Acesso em 05 jul. 2021.

GIRALDO-HENAO, R. **Introducción a la Geoestadística. Teoría y aplicación**. (Introduction to the Geostatistics). Bogotá, Facultad de Ciencias, Departamento de Estadística, Universidad Nacional de Colombia, 2003, 94 pp.

GREGO, C. R.; DE OLIVEIRA, R. P.; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. (Geostatistics applied to Precision Agriculture). **Embrapa Monitoramento por Satélite-Capítulo em livro técnico-científico (ALICE)**, 2014.

- GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. (Basic and Applied Geostatistics). Núcleo de Estudos Estatísticos e Biométricos. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2004, 78 p.
- GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. Oxford University Press, 1997, 483 pp.
- GOOVAERTS, P. Geostatistics: a common link between medical geography, mathematical geology, and medical geology. **Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, v. 114, n. 8, p. 605-613, 2014.
- GY, P. Sampling of discrete materials—A new introduction to the theory of sampling. I – Qualitative Approach. **Chemom. Intell. Lab. Syst.** 2004a, 74, 7–24.
- GY, P. Sampling of discrete materials—A new introduction to the theory of sampling. II – Quantitative Approach – sampling of zero-dimensional objects **Chemom. Intell. Lab. Syst.** 2004b, 74, 25–38.
- GY, P. Sampling of discrete materials—A new introduction to the theory of sampling. III – Quantitative Approach – sampling one-dimensional objects. **Chemom. Intell. Lab. Syst.** 2004c, 74, 39–47.
- GY, P. Part IV – 50 years of Sampling Theory. **Chemom. Intell. Lab. Syst.** 2004d, 74, 49–60.
- GY, P. Part V – Annotate Literature Compilation of Pierre Gy. **Chemom. Intell. Lab. Syst.** 2004e, 74, 61–70.
- HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J., **Fundamentos de física**. (Fundamentals of Physics). 7ª edição, vol. 2, editora LTC, 2006.
- HAUTMAN, D. P.; MUNCH, D. J. Method 300.1 Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography. **US Environmental Protection Agency**, Cincinnati, OH, Estados Unidos, 1997. Disponível em: http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/bioindicators/upload/2007_07_10_methods_method_300_1.pdf. Acesso em 24 de janeiro de 2015.
- HOFFMANN, A., GUNKEL, G. Physicochemical changes in pore water in the sandy littoral zone of Lake Tegel during bank filtration. Recharge systems for protecting and enhancing groundwater resources. In: **Proceedings of the Fifth International Symposium on Management of Aquifer Recharge**, p 605-610, 2006. Disponível em: http://itu205.ut.tu-berlin.de/wrh/persons/gunkel/Literatur/2006_Hoffmann-Gunkel_ISMAR.pdf. Acesso em 24 de janeiro de 2015.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. (1989). **Applied Geostatistics**. Oxford University Press, New York.

JOURNEL, A. G. Fundamentals of geostatistics in five lessons. Washington: American Geophysical Union, 1989. 40 p. (Short Course in Geology, v.8).

KENTWELL, D.; GARVIE, A.; CHAPMAN, J. Adequacy of Sampling and Volume Estimation for Pre-mining Evaluation of Potentially Acid Forming Waste: Statistical and Geostatistical Methods. **SRK Consulting**, 2012, 16 pp. Disponível em: http://www.srk.com/files/File/papers/adequacy_of_sampling_for_acid_mine_drainage.pdf. Acesso em 12 de janeiro de 2015.

KITANIDIS, P. K. **Introduction to geostatistics: applications in hydrogeology**. Cambridge University Press, 1997, 249 p.

KOVÁCS, J., KORPONAI, J., KOVÁCS, I. S., HATVANI, I.G., 2012. Introducing sampling frequency estimation using variograms in water research with the example of nutrient loads in the Kis-Balaton Water Protection System (W Hungary). *Ecol. Eng.* 42, 237–243.

Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Istvan_Hatvani/publication/257368959_Introducing_sampling_frequency_estimation_using_variograms_in_water_research_with_the_example_of_nutrient_loads_in_the_Kis-Balaton_Water_Protection_System_W_Hungary/links/599169130f7e9bf4fbd92bfa/Introducing-sampling-frequency-estimation-using-variograms-in-water-research-with-the-example-of-nutrient-loads-in-the-Kis-Balaton-Water-Protection-System-W-Hungary.pdf. Acesso em 20 de setembro de 2020.

KRIGE, D. G. Essential basic concepts in mining geostatistics and their links with geology and classical statistics. **South African Journal of Geology**, v. 102, p. 147-152, 1999.

LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. (About geostatistics and maps). **Terræ Didática**, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.

LEBRENZ, H. H. **Addressing the input uncertainty for hydrological modelling by a new geostatistical method**. 2013. 206 f. Tese de Doutorado. Institut für Wasser – und Umweltingenieurwissenschaften der Universität Stuttgart. Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Universität Stuttgart. Stuttgart 2013.

LUNDGREN, W. J. C. **Uso da Geoestatística na Estimativa Volumétrica de Clones de Eucalyptus SP no Pólo Gesseiro do Araripe**. (Use of Geostatistics in the Volumetric Estimative of Eucalyptus Clones SP in the Plasterer Pole from Arararipe). 2011. 165 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Departamento de Ciência Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco: Recife, Pernambuco, 2011.

- MACIEL, S. A. Análises da relação chuva-vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil. 2017. 214 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.
- MARQUES, D.M.; COSTA, J.F. 2014a. Analysis of the dispersion variance using geostatistical simulation and blending piles. *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.*, Johannesburg, v. 114, n. 8, p. 587-599, Aug. 2014. Available from <http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-62532014000800009&lng=en&nrm=iso>. access on 11 Oct. 2019
- MARQUES D.M., COSTA J.F., 2014b. Choosing a proper sampling interval for the ore feeding a processing plant: A geostatistical solution. *International Journal of Mineral Processing* 131 (2014) 31–42.
- MARTINS, M.E.G. Coeficiente de correlação amostral. *Revista de Ciência Elementar* 2014, 2(02):0069
- MATHERON, G. Matheron's Theory of Regionalised Variables. Ed. by Vera Pawlowsky-Glahn and Jean Serra. Oxford University Press, Apr. 2019. doi: 10.1093/oso/9780198835660.001.0001.
- MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. New Jersey: Wile Hoboken, 2003
- MORGAN, C. J. **Analysing spatial data via geostatistical method**. 2005. 279 f. Dissertação de Mestrado (Master of Science). Faculty of Science, University of the Witwatersrand, 2005. Disponível em: <http://wiredspace.wits.ac.za/handle/10539/1768>. Acesso em: 12 de janeiro de 2015.
- NAS, B.; KARABORK, H.; EKERCIN, S.; BERKTAY, A. Assessing water quality in the Beysehir Lake (Turkey) by the application of GIS, geostatistics and remote sensing. In: **Proceedings of Taal2007: The 12th World Lake Conference**. 2007. Vol. 639, p. 639-646.
- NAS, B.; BERKTAY, A.; AYGÜN, A.; KARABORK, H.; EKERCIN, S. 2009. Seasonal and spatial variability of metals concentrations in Lake Beysehir, Turkey. **Environmental Technology**, 30 (4), 345–353.
- OLIVER, M.A.; WEBSTER, R. **Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging**; Springer: New York, NY, USA, 2015.
- PACHECO, C. E. P. **Tratamento Geoestatístico da Batimetria da Plataforma de Santos. (Geostatistical Treatment of Santos Platafaform's Bathymetry)**. 2014. 64 f. Trabalho de

Conclusão do Curso (Graduação em Geofísica). Universidade Federal Fluminense, Centro de Estudos Gerais – Instituto de Geociências, 2014.

PEREIRA, P. E. C. **Métodos Geoestatísticos de Estimativa e Classificação de Recursos Minerais e Estudo de Caso de um Depósito de Cobre. (Geostatistical Methods Estimate and Mineral Resources Classification and the Case's Study of a Copper Deposit)**. 2013. 121 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas). Universidade Federal de Goiás, Campus Catalão, Catalão, Goiás, 2013.

PERONI, R. L. **Análise da sensibilidade do sequenciamento de lavra em função da incerteza do modelo geológico**. 143 p. Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGE3M) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia. Porto Alegre, 2002.

PITARD, F.F. **Pierre Gy's Sampling Theory and Sampling Practice, Second Edition: Heterogeneity, Sampling Correctness, and Statistical Process Control**. 2. ed. CRC Press. 1993, 528 p.

RAMOS, C.M.C.; SILVA, A.F.; BASSOI, L.H.; SARTORI, A.A.C.; ZIMBACK, C.R.L. Análise temporal de fatores climáticos em Petrolina, PE. In: CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA RURAL, 10.; CONGRESO DEL MERCOSUR, 2., _____ Revista Brasileira de Climatologia _____ ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica) Ano 13 – Vol. 20 – JAN/JUL 2017 283 2009, Rosário. Actas...Rosário: Editorial de La Universidad Nacional de Rosario, 2009. p.1036-1041.

RAMOS, C. M. C.; SILVA, A. F.; SARTORI, A. A. da; ZIMBACK, C. R. L. e BASSOI, L. H. Modelagem da variação horária da temperatura do ar em Petrolina, PE, e Botucatu, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande – PB. v.15, n.9, p.959–965, 2011.

REGINATO, P.; FINOTTI, A.; AHLERT, S.; SCHNEIDER, V. E. Qualidade das Águas Subterrâneas de Diferentes Aquíferos Associados à Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Setembro de 2010, São Luís, Maranhão.

REMY, N.; BOUCHER, A.; WU, J. **Applied geostatistics with SGeMS: a user's guide**. Cambridge University Press, 2009, 63 f.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496 p.

- RIBEIRO, R. A. Contribuição ao Estudo do Fluoreto nas Águas Subterrâneas na Bacia do Médio-Tietê (Região de Piracicaba) – Caracterização e Metodologias Propostas para a sua Extração. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.
- SALIH, I.; PETTERSON, H. B. L.; SIVERTUN, A.; LUND, E. Spatial correlation between radon (^{222}Rn) in groundwater and bedrock uranium (^{238}U): GIS and geostatistical analyses. **Journal of Spatial hydrology**, v. 2, n. 2, 2002.
- SALMONELI, G, F.; JUNGLES, M. K.; DÖLL, M. M. R. Correlação de Parâmetros de Qualidade de Água para Avaliar os Efeitos de Fontes Poluidoras no Arroio da Ronda. 3º Congresso Internacional – RESAG 2017. Disponível em: <http://www.resag.org.br/congressoresag2017/anais/download/trabalho/161>. Acesso em 04 de novembro de 2020.
- SANTOS, C. G. P.; MATO, L. F.; CLENNELL, B. Modelagem Estocástica Aplicada à Caracterização do Reservatório do Campo de Namorado, Bacia de Campos–RJ, Brasil. (Stochastic Modelling Applied to the Reservoir of Namorado Field, Campos Bay – RJ). In: **2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**. 2002.
- SARMA D. D., Geostatistics with Applications in Earth Sciences, Springer, 2009, 220 p.
- SGeMS - **Stanford Geostatistical Modelling Software**. Disponível em: <http://sgems.sourceforge.net/>. Acesso em 13 de outubro de 2019.
- SHAMSUDDUHA, M. Spatial variability and prediction modeling of groundwater arsenic distributions in the shallowest alluvial aquifers in Bangladesh. **Journal of Spatial Hydrology**, v. 7, n. 2, 2008.
- SILVA, G. C. **Aplicação da Geoestatística Usando a Predição Espacial de Monóxido de Carbono pelo Tráfego Veicular Urbano. (Application of Geostatistics Using the Spatial Prediction of Carbon Monoxide by Vehicular Urban Traffic)**. 2006. 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC, Florianópolis, 2006.
- SOARES, A. (2006). **Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente**. (Geostatistics for Earth and Environmental Sciences). IST Press, 2ª Edição. Lisboa, Portugal.
- SOARES, S. S.; ARRUDA, P. N.; LOBÓN, G. S.; SCALIZE, P. S. Avaliação de métodos para determinação de cloro residual livre em águas de abastecimento público. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 37, n. 1, p. 119-130, jan./jun. 2016.

TIMBOLA, R. S. **Avaliação de Metodologias Geoestatísticas na Análise da Distribuição Espacial de Variáveis Ambientais em Solos da Europa. (Evaluation of Geostatistical Methodologies in the Spatial Distribution Analysis of Environmental Variables in the Soils from Europe)**. 2011. 115 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2011.

TUCKFIELD, R. C. (1994). Estimation an appropriate sampling frequency for monitoring groundwater well contamination. DOE Contract No. DE-AC09-89SR18035, International Nuclear Materials Management Annual Meeting, Westinghouse Savannah River Company, Savannah River Site, Naples. Disponível em: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/26/010/26010521.pdf?r=1.

Acesso em 20 de setembro de 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – Atlas Digital das Águas de Minas. Disponível em: http://www.atlasdasaguas.ufv.br/atlas_digital_das_aguas_de_minas_gerais.html. Acesso em 15 de outubro de 2018.

U.S. EPA. 1997. “Method 300.1: Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography,” Revision 1.0. Cincinnati, OH.

VAN HORSSSEN, P. W.; SCHOT, P. P.; BARENDREGT, A. A GIS-based plant prediction model for wetland ecosystems. **Landscape Ecology**, v. 14, n. 3, p. 253-265, 1999.

VIRDEE, T. S.; KOTTEGODA, N. T. A brief review of kriging and its application to optimal interpolation and observation well selection, **Hydrological Sciences Journal**, v. 29, n.4, pp 367-387, 1984. DOI: 10.1080/02626668409490957

VON CANSTEIN, H.; LI, Y.; TIMMIS, K. N.; DECKWER, W. D.; WAGNER-DLÖBER, I. Removal of Mercury from Chloralkali Electrolysis Wastewater by a Mercury-Resistant *Pseudomonas putida* Strain. **Applied and environmental microbiology**, v. 65, n. 12, p. 5279-5284, 1999.

WACKERNAGEL, H. **Multivariate geostatistics**. 2nd completely revised edition. Berlin: Springer, 1998.

WACKERNAGEL, H. **Multivariate geostatistics**. Springer, 2003. 387 pp.

WARNER, J.; ABDEL-RAHMAN, A.; MAY, J.; TAMAYO-LARA, C. **REMEDIATION OF GROUNDWATER CONTAMINATION AT THE ROCKY MOUNTAIN ARSENAL: NUMERICAL AND GEOSTATISTICAL ANALYSIS**. Estados Unidos, 1992, p -345-361.

YAMAMOTO, J. K. **Avaliação e classificação de reservas minerais. (Evaluation and Classification of mineral reserves)**. São Paulo: EDUSP, 2001. 226 p.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações.** (Geostatistics: concepts and applications), 1. ed. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2013. 215p.

ZANETTI, G. S. **Avaliação da Krigagem Indicadora para o Depósito de Ouro de Suruca – GO.** (Evaluation of Indicator Kriging to the Gold Deposit called Suruca – GO). 2011. 122 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mineral). Departamento da Escola de Engenharia de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2011

ANEXOS

A - RESULTADOS DAS ANÁLISES

Lote	identificação da amostra	data da fabricação	Tipo de Embalagem	alcalinidade	cálcio	cloro	condutividade	fluoreto	lítio	magnésio	pH	resíduo	sódio	temperatura	temperatura de recebimento	estação climática
FS:343:11:29F	881989	09/12/2015	galão 5 L	61,00	22,00	4,70	142,00	0,200	0,027	2,01	7,50	262,00	15,00	—	3,9	primavera
FS:219:13:53F	881987	15/12/2015	galão 5 L	53,00	16,00	4,10	120,00	0,140	0,025	1,93	7,40	123,00	13,00	—	3,9	primavera
FS:XXX:99:99F sem identificação do lote	881994	23/12/2015	galão 10 L	43,00	15,00	3,10	98,00	0,176	0,018	1,65	7,40	120,00	11,00	—	3,9	verão
FS:362:15:34F	881990	28/12/2015	galão 10 L	49,00	19,00	4,10	119,00	0,228	0,024	1,92	7,30	108,00	13,00	—	3,9	verão
FS:012:08:35F	881992	12/01/2016	galão 10 L	61,00	22,00	5,00	140,00	0,195	0,026	1,90	7,60	152,00	15,00	—	3,9	verão
FS:020:13:52F	881988	20/01/2016	galão 10 L	52,00	19,00	4,00	124,00	0,285	0,022	1,81	7,40	146,00	13,00	—	3,9	verão
FS:027:08:57F	881991	27/01/2016	galão 10 L	55,00	19,00	4,20	126,00	0,324	0,022	1,75	7,50	124,00	13,00	—	3,9	verão
FS:034:07:45F	881985	03/02/2016	galão 10 L	60,00	19,00	4,50	125,00	0,202	0,026	1,99	7,40	152,00	14,00	—	3,9	verão
FS:034:07:33F	881993	03/02/2016	galão 10 L	49,00	18,00	4,40	126,00	0,107	0,025	1,87	7,10	89,00	13,00	—	3,9	verão
FS:042:08:04F	882606	11/02/2016	galão 10 L	57,00	21,00	3,58	162,00	0,150	0,029	2,16	7,50	161,00	15,00	24,00	—	verão
FS:042:14:47F	881986	11/02/2016	galão 10 L	53,00	22,00	4,40	134,00	0,192	0,029	2,16	7,40	156,00	16,00	—	3,9	verão
TSJL:01:16:10	14578-1/2016.0	11/08/2016	squeeze 500 ml	46,00	20,00	5,53	135,20	0,108	0,022	2,61	7,28	—	14,00	—	—	inverno
FS:316:13:34F	25234/2017	11/11/2016	galão 10 L	42,00	13,30	5,00	168,00	<0,20	0,033	1,97	7,40	—	11,60	23,00	—	primavera
TSJL:02:14:31	25235/2017	14/11/2016	squeeze 500 ml	46,00	13,80	4,63	167,00	<0,20	0,034	1,92	7,50	—	11,90	22,00	—	primavera
FS:322:09:18F	25236/2017	17/11/2016	galão 10 L	50,00	12,30	4,22	168,00	<0,20	0,032	1,86	7,40	—	11,30	22,00	—	primavera
TSJL:03:13:00	25237/2017	23/11/2016	squeeze 500 ml	48,00	11,00	3,95	169,00	<0,20	0,032	1,87	7,50	—	11,50	22,00	—	primavera
FS:329:15:47F	25238/2017	24/11/2016	galão 10 L	24,00	10,30	4,32	171,00	<0,20	0,033	1,89	7,40	—	11,10	23,00	—	primavera
TSJL:04:12:45	25239/2017	30/11/2016	squeeze 500 ml	42,00	11,10	4,35	162,00	<0,20	0,032	1,87	7,40	—	11,00	22,00	—	primavera

TSJL:05:13:00	25240/2017	30/11/2016	squeeze 500 ml	46,00	13,30	4,55	160,00	<0,20	0,03 2	1,88	7,8 0	—	10,9	23,00	—	primavera
TSJL:06:13:00	25241/2017	09/12/2016	squeeze 500 ml	46,00	10,70	4,93	170,00	<0,20	0,03 4	2,00	7,5 0	—	11,6 0	22,00	—	primavera
FS:138:09:23	60839/2017	18/05/2017		—	—	—	—	0,030	—	—	—	—	—	—	—	outono
TSJL:07:13:20	60842/2017	31/05/2017	squeeze 500 ml	—	—	—	—	0,030	—	—	—	—	—	—	—	outono
FS:163:09:09	60840/2017	12/06/2017	galão 10 L	—	—	—	—	0,010	—	—	—	—	—	—	—	outono
FS:163:09:09	60837/2017	12/06/2017	galão 20 L	—	—	—	—	0,130	—	—	—	—	—	—	—	outono
FS:165:15:41	60841/2017	14/06/2017	galão 20 L	—	—	—	—	0,020	—	—	—	—	—	—	—	outono
FS:165:15:42	60838/2017	14/06/2017	galão 10 L	—	—	—	—	0,090	—	—	—	—	—	—	—	outono
TSJL:08:08:22	60844/2017	19/06/2017	squeeze 500 ml	—	—	—	—	0,020	—	—	—	—	—	—	—	outono
TSJL:09:08:24	60843/2017	19/06/2017	squeeze 500 ml	—	—	—	—	0,080	—	—	—	—	—	—	—	outono

Classificação da Água Mineral: Água Mineral Fluoretada, Litinada e Radioativa na Fonte

Tabela A.1 – Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e químicos da Fonte Sonja

lote	identificação da amostra	data da fabricação	Tipo de embalagem	alcalinidade	cálcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnésio	pH	resíduo	sódio	temperatura	estação climática
L057:99:99 sem hora do envase	881995	17/12/2015	Copo 300 mL	57,00	9,60	17,00	145,00	0,286	4,76	8,10	125,00	23,00	—	primavera
L01:13:36	896766	22/02/2016	Galão 20 L	80,00	7,90	20,00	178,00	0,032	3,62	8,00	—	15,00	—	verão
L0:07:51	896763	23/02/2016	Galão 20 L	54,00	8,20	20,00	182,00	0,043	3,73	6,70	—	16,00	—	verão
L02:14:04	896764	25/02/2016	Galão 20 L	54,00	8,10	20,00	185,00	0,025	3,67	6,80	—	15,00	—	verão
L02:07:13	896767	29/02/2016	Galão 20 L	49,00	8,00	20,00	181,00	0,057	3,80	6,80	—	16,00	—	verão
L02:07:39	896765	02/03/2016	Galão 20 L	52,00	8,80	20,00	188,00	0,051	4,06	6,90	—	17,00	—	verão
L01:16:00	896768	04/03/2016	Galão 20 L	55,00	8,10	20,00	180,00	0,070	3,81	7,00	—	15,00	—	verão
L02:14:55	896769	31/03/2016	Galão 20 L	49,00	7,70	20,00	183,00	0,260	3,56	6,60	—	15,00	—	outono
L01:10:30	896770	26/04/2016	Galão 20 L	61,00	8,10	20,00	189,60	0,049	3,71	6,50	—	16,00	—	outono
L01:16:47	896771	09/05/2016	Galão 20 L	48,00	8,10	20,00	183,00	0,067	3,75	6,70	—	15,00	—	outono
L01:10:01	14579-1/2016.0	03/08/2016	Galão 20 L	49,00	11,00	24,16	179,90	0,143	4,85	6,79	—	26,00	—	inverno

L01:16:34	14582-1/2016.0	04/08/2016	Galão 20 L	50,00	12,00	24,07	180,00	0,139	5,66	6,78	—	28,00	—	inverno
L01:13:36	36580/2017	08/12/2016	Galão 20 L	38,00	5,99	16,10	183,00	<0,20	3,24	6,30	—	23,40	23,0	primavera
L02:07:25	36581/2017	09/12/2016	Galão 20 L	40,00	6,10	15,50	162,00	<0,20	3,26	6,30	—	23,40	23,0	primavera
L01:07:50	36582/2017	22/12/2016	Galão 20 L	38,00	7,01	15,50	179,00	<0,20	3,21	6,30	—	22,60	23,0	primavera
L02:09:00	36583/2017	15/02/2017	Galão 20 L	44,00	9,43	14,80	185,00	<0,20	4,70	6,30	—	24,70	23,0	verão
L02:09:01	36584/2017	15/02/2017	Galão 20 L	38,00	7,09	14,90	189,00	<0,20	3,28	6,30	—	19,40	23,0	verão
L02:14:58	36585/2017	06/03/2017	Galão 20 L	44,00	9,34	15,20	177,00	<0,20	4,64	6,30	—	22,30	23,0	verão
L02:99:99 – hora apagada	36586/2017	06/03/2017	Galão 20 L	42,00	9,54	15,00	173,00	<0,20	4,68	6,30	—	23,10	23,0	verão
L01:15:45	36587/2017	16/03/2017	Galão 20 L	40,00	5,41	13,20	189,00	<0,20	2,89	6,30	—	20,70	23,0	verão
L01:07:11	61707/2017	01/07/2017	Galão 20 L	—	—	—	—	0,072	—	—	—	—	—	inverno
L01:07:11	61708/2017	01/07/2017	Galão 20 L	—	—	—	—	0,112	—	—	—	—	—	inverno
L02:15:31	61709/2017	05/07/2017	Galão 20 L	—	—	—	—	0,136	—	—	—	—	—	inverno
L02:07:13	61710/2017	27/07/2017	Galão 20 L	—	—	—	—	0,100	—	—	—	—	—	inverno
L01:07:03	61711/2017	31/07/2017	Galão 20 L	—	—	—	—	0,136	—	—	—	—	—	inverno
L01:07:03	61712/2017	31/07/2017	Galão 20 L	—	—	—	—	0,124	—	—	—	—	—	inverno
L01:07:53	61713/2017	04/08/2017	Galão 20 L	—	—	—	—	0,184	—	—	—	—	—	inverno
L01:07:53	61714/2017	04/08/2017	Galão 20 L	—	—	—	—	0,044	—	—	—	—	—	inverno

Classificação da Água Mineral: Água Mineral Fluoretada

Tabela A.2 – Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e químicos da Fonte Santo Antonio

lote	identificação da amostra	data de fabricação	Tipo de Embalagem	alcalinidade total	calcio	cloreto	condutividade	flúor	magnésio	pH	sódio	estação climática
A3325	Santa Lúcia 1	1/11/2018	500 ml com gás	20,5	10,5	0,1	128,5	0,1	9,5	6,8	1,02	primavera
A3448	Santa Lúcia 2	31/12/2018	500 ml com gás	21,4	9,8	0,15	125,6	0,14	9,65	6	0,98	verão
A3487	Santa Lúcia 3	14/1/2019	1,5 L sem gás	21	9,5	0,2	115,6	0,1	9,6	6,5	0,9	verão
A3494	Santa Lúcia 4	17/1/2019	500 ml com gás	20,8	9,40	0,15	120,6	0,12	9,45	6,5	0,96	verão
A3574	Santa Lúcia 5	15/2/2019	500 ml com gás	21,6	9,80	0,18	117,6	0,15	9,56	6	0,9	verão

Classificação da Água Mineral: Água Mineral Fluoretada

Tabela A.3 – Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e químicos da Fonte Santa Lúcia

lote	identificação da amostra	data da fabricação	alcalinidade bicarbonato	Tipo De Embalagem	alcalinidade carbonato	cálcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnésio	pH	sódio	estação climática
FV:152:08:40	14581-1/2016.0	31/05/2016	—	510 ml sem gás	—	8,6	2,37	95	<0,014	4,33	7,35	9,1	outono
FV:152:09:08	17541.015/1	07/06/2017	12,5	510 ml sem gás	11,3	6,8	3,4	0,65	<0,20	3,5	6,2	7	outono
FV:152:09:12	17541.015/2	07/06/2017	12,5	510 ml sem gás	11,3	6,8	3,4	0,65	<0,20	3,5	6,2	7	outono
FV:181:15:48	VERONICA 1A - 63570	30/06/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,152	—	—	—	inverno
FV:181:15:48	VERONICA 2A - 63571	30/06/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,152	—	—	—	inverno
FV:181:15:49	17541.015/3	30/06/2017	11,5	510 ml sem gás	12	6,5	4	0,6	<0,20	3	6,6	6,85	inverno
FV:198:16:36	17541.015/4	17/07/2017	12	510 ml sem gás	11,5	6,45	3,8	0,65	<0,20	3,5	6,6	6,75	inverno
FV:198:16:36	VERONICA 3A - 63572	17/07/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,176	—	—	—	inverno
FV:198:16:36	VERONICA 4A - 63573	17/07/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,120	—	—	—	inverno
FV:199:14:55	17541.015/5	18/07/2017	12	510 ml sem gás	11,5	6,45	3,8	0,65	<0,20	3,5	6,6	6,75	inverno
FV:199:14:55	VERONICA 5A - 63574	18/07/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,160	—	—	—	inverno
FV:199:14:55	VERONICA 6A - 63575	18/07/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,292	—	—	—	inverno
FV:201:14:09	17541.015/6	20/07/2017	12	510 ml sem gás	11,4	6,45	3,6	0,65	<0,20	3,5	6,6	6,7	inverno
FV:208:15:40	17541.851/1	27/07/2017	12,3	510 ml sem gás	11,5	6,65	2,5	0,6	<0,20	3,3	6	7,6	inverno
FV:208:15:40	17541.851/2	27/07/2017	12,3	510 ml sem gás	11,5	6,65	2,5	0,6	<0,20	3,3	6	7,5	inverno
FV:209:14:49	17541.015/7	28/07/2017	11,5	510 ml sem gás	10,5	6,42	3,5	0,65	<0,20	3,5	6,6	6,7	inverno
FV:209:15:21	VERONICA 7A - 63576	28/07/2017	—	510 ml com gás	—	—	—	—	0,064	—	—	—	inverno
FV:209:15:36	VERONICA 8A - 63577	28/07/2017	—	510 ml com gás	—	—	—	—	0,144	—	—	—	inverno
FV:209:15:36	17541.851/3	28/07/2017	11,6	510 ml sem gás	10,8	6,45	2,55	0,65	<0,20	3,25	6	7,2	inverno
FV:209:15:36	17541.851/3	28/07/2017	11,6	510 ml sem gás	10,8	6,45	2,55	0,65	<0,20	3,25	6	7,2	inverno

FV:209:15:37	17541.851/4	28/07/2017	11,6	510 ml sem gás	10,4	6,4	2,55	0,65	<0,20	3,25	6	7,2	inverno
FV:212:11:21	17541.851/5	31/07/2017	12,4	510 ml sem gás	11,5	6,55	2,45	0,6	<0,20	3,3	6,9	7,4	inverno
FV:212:11:21	VERONICA 8A - 63577	31/07/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,228	—	—	—	inverno
FV:212:11:21	VERONICA 9A - 63578	31/07/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,228	—	—	—	inverno
FV:213:14:30	17541.015/8	01/08/2017	11,5	510 ml sem gás	10,5	6,3	3	0,5	<0,20	3,5	6,4	6,25	inverno
FV:213:14:30	VERONICA 11A - 63580	01/08/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,148	—	—	—	inverno
FV:213:14:30	VERONICA 12A - 63581	01/08/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,180	—	—	—	inverno
FV:214:15:09	17541.015/9	02/08/2017	11,5	510 ml sem gás	10,5	6,35	3	0,55	<0,20	3,4	6,4	6,25	inverno
FV:214:15:09	17541.015/10	02/08/2017	11,5	510 ml sem gás	10,5	6,35	3	0,55	<0,20	3,4	6,4	6,2	inverno
FV:214:15:09	VERONICA 13A - 63731	02/08/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,268	—	—	—	inverno
FV:214:15:09	VERONICA 14A - 63732	02/08/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,06	—	—	—	inverno
FV:215:11:21	17541.851/6	03/08/2017	11,5	510 ml sem gás	10,4	6,55	2,5	0,6	<0,20	3,25	6,9	7,65	inverno
FV:215:15:07	VERONICA 15A - 63733	03/08/2017	—	510 ml com gás	—	—	—	—	0,136	—	—	—	inverno
FV:215:15:07	VERONICA 16A - 63734	03/08/2017	—	510 ml com gás	—	—	—	—	0,228	—	—	—	inverno
FV:221:15:15	17541.851/7	09/08/2017	11,5	510 ml sem gás	9,4	6,8	2,5	0,6	<0,20	3,3	7,2	7,42	inverno
FV:221:15:15	VERONICA 17A - 63735	09/08/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,204	—	—	—	inverno
FV:221:15:15	VERONICA 18A - 63736	09/08/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,212	—	—	—	inverno
FV:228:15:09	17541.851/8	16/08/2017	11,5	510 ml sem gás	10,5	6,5	2,55	0,65	<0,20	3,35	6,8	7,4	inverno
FV:228:15:09	17541.851/9	16/08/2017	11,5	510 ml sem gás	10,5	6,5	2,55	0,65	<0,20	3,35	6,8	7,4	inverno
FV:228:15:09	VERONICA 19A - 63740	16/08/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,112	—	—	—	inverno
FV:228:15:09	VERONICA 20A - 63741	16/08/2017	—	510 ml sem gás	—	—	—	—	0,22	—	—	—	inverno

Água Mineral Fluoretada e Fracamente Radioativa na Fonte

Tabela A.4 – Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e químicos da Fonte Verônica

lote	identificação da amostra	data da fabricação	Tipo de embalagem	alcalinidade	alcalinidade bicarbonato	alcalinidade carbonato	cálcio	cloreto	condutividade	fluoreto	magnésio	pH	sódio	estação climática
FS:XX:99:99	14580-1/2016.0	11/08/2016	510 ml sem gás	39,00	—	—	8,70	2,16	98,30	<0,014	4,17	7,20	9,40	inverno
FV:219:13:33	17541.015/11	07/08/2017	510 ml sem gás	—	12,50	11,40	6,25	2,50	0,60	0,252	3,50	6,50	6,55	inverno
FV:219:13:33	17541.015/12	07/08/2017	510 ml sem gás	—	12,50	11,40	6,25	2,50	0,60	0,212	3,50	6,50	6,55	inverno
FV:219:13:33	-17541.851/10	07/08/2017	510 ml sem gás	—	12,50	11,30	6,40	2,50	0,60	0,356	3,30	6,90	7,20	inverno

Água Mineral Fluoretada e Radioativa na Fonte

Tabela A.5 – Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e químicos da Fonte Juliana

lote	data de fabricação	identificação da amostra	Tipo de Embalagem	alcalinidade total	calcio	cloroto	condutividade	flúor	magnesi	pH	sódio	<i>Escherichia coli</i>	<i>Coliformes Totais</i>	<i>Bactérias Heterotróficas</i>	Estação Climática
L17C0430	5/7/2017	Água Santa 1	1,5 L com gás	42,2	18,2	0,20	108,5	0,06	10,2	7,6	1,3	ausente	ausente	ausente	inverno
L17C0606	18/9/2017	Água Santa 2	1,5 L com gás	42,5	17,6	0,22	106,4	0,05	9,8	7,2	1,0	ausente	ausente	ausente	inverno
L17D0755	13/11/2017	Água Santa 3	510 ml com gás	20,2	16,4	10,5	134,2	0,10	9,2	6,5	1,0	ausente	ausente	ausente	primavera
L17D0784	28/11/2017	Água Santa 4	510 ml sem gás	20,5	16,2	11,2	135,6	0,14	9,8	6,5	1,5	ausente	ausente	ausente	primavera
L17D0784	30/11/2017	Água Santa 5	510 ml sem gás	21,2	16,5	10,5	132,5	0,15	9,9	6,8	1,2	ausente	ausente	ausente	primavera
L17C0803	1/12/2017	Água Santa 6	1,5 L sem gás	20,5	15,5	10,0	129,5	0,10	9,9	6,8	1,5	ausente	ausente	ausente	primavera
L17C0825	12/12/2017	Água Santa 7	510 ml sem gás	20,2	15,2	10,0	130,2	0,10	9,5	6,8	1,5	ausente	ausente	ausente	primavera
L17C0867	26/12/2017	Água Santa 8	1,5 L sem gás	21,5	15,6	0,15	132,0	0,15	9,71	7,8	1,12	ausente	ausente	ausente	verão
L17C0876	28/12/2017	Água Santa 9	1,5 L sem gás	20,5	14,6	0,18	135,4	0,21	9,5	7,8	1,05	ausente	ausente	ausente	verão
L17C0874	30/12/2017	Água Santa 10	510 ml sem gás	20,8	13,5	0,16	135,4	0,18	9,45	7,6	1,1	ausente	ausente	ausente	verão
L18D0002	2/1/2018	Água Santa 11	510 ml sem gás	18,6	12,5	0,14	130,5	0,22	8,65	7,8	0,95	ausente	ausente	ausente	verão
L18D0024	10/1/2018	Água Santa 12	510 ml sem gás	18,5	13,2	0,15	132,4	0,22	9,55	7,6	0,92	ausente	ausente	ausente	verão
L18C0210	21/3/2018	Água Santa 13	1,5 L sem gás	18,4	13,5	0,18	130,5	0,24	8,65	7,8	1,1	ausente	ausente	ausente	outono

L18C0210	22/3/2018	Água Santa 14	1,5 L sem gás	19,5	14,2	0,20	133,4	0,21	9,5	7,6	1,2	ausente	ausente	ausente	outono
L18C0232	30/3/2018	Água Santa 15	1,5 L sem gás	19,5	14,5	0,20	131,6	0,25	9,8	7,2	1,16	ausente	ausente	ausente	outono
Classificação da água mineral: Água Mineral Fluoretada e Fracamente Radioativa na Fonte															

Tabela A.6 – Resultados das análises microbiológicas, químicas e físico-químicas da Fonte Água Santa

Lote	data de fabricação	identificação da amostra	Tipo de Embalagem	alcalinidade total	calcio	cloreto	condutividade	flúor	magnésio	pH	sódio	<i>Escherichia coli</i>	<i>Coliformes Totais</i>	<i>Bactérias Heterotróficas</i>	estação climática
MO1	17/8/2017	Crystal 1	500 ml sem gás	21,4	33,4	2,5	145,5	1,3	1,5	7,6	32,6	ausente	ausente	ausente	inverno
MO1	21/9/2017	Crystal 2	500 ml sem gás	21,4	32,5	2,8	146,8	1,3	1,5	7,5	31,4	ausente	ausente	ausente	inverno
MO2	27/9/2017	Crystal 3	500 ml sem gás	21,2	4,25	2,0	145,8	0,95	1,3	7,6	36,5	ausente	ausente	ausente	primavera
MO2	28/9/2017	Crystal 4	500 ml sem gás	21,0	4,20	1,95	142,5	0,90	1,2	7,6	34,5	ausente	ausente	ausente	primavera
MO1	17/10/2017	Crystal 5	500 ml sem gás	20,6	3,80	1,6	162,0	0,95	1,25	7,5	36,5	ausente	ausente	ausente	primavera
MO3	24/10/2017	Crystal 6	500 ml com gás	19,5	3,65	1,45	158,0	0,92	1,15	6,8	35,4	ausente	ausente	ausente	primavera
MO3	7/11/2017	Crystal 7	500 ml sem gás	20,5	3,40	1,5	156,4	1,0	1,25	7,8	36,5	ausente	ausente	ausente	primavera
MO3	22/12/2017	Crystal 8	500 ml com gás	20,2	3,80	2,0	156,5	0,86	1,89	6,8	28,6	ausente	ausente	ausente	verão
MO1	23/12/2017	Crystal 9	500 ml sem gás	22,5	3,50	1,5	158,5	0,88	1,3	7,2	29,5	ausente	ausente	ausente	verão
MO3	28/12/2017	Crystal 10	500 ml com gás	21,5	3,80	1,85	155,6	0,98	1,5	6,8	30,2	ausente	ausente	ausente	verão
MO1	7/1/2018	Crystal 11	500 ml com gás	22,5	3,50	1,75	152,6	0,84	1,8	7,2	30,5	ausente	ausente	ausente	verão
MO1	12/1/2018	Crystal 12	500 ml com gás	21,4	3,60	1,7	149,5	0,90	1,5	6,8	25,8	ausente	ausente	ausente	verão
MO2	20/3/2018	Crystal 13	1,5 L sem gás	21,0	3,50	1,85	136,5	0,84	1,2	7,3	28,6	ausente	ausente	ausente	outono
MO2	23/3/2018	Crystal 14	1,5 L sem gás	21,0	3,40	1,75	125,6	0,87	1,25	7,4	30,2	ausente	ausente	ausente	outono
MO1	29/3/2018	Crystal 15	500 ml sem gás	22,5	3,55	1,3	145,6	0,91	1,3	7,2	31,5	ausente	ausente	ausente	outono
Classificação da água mineral: Água Mineral Fluoretada e radioativa na Fonte															

Tabela A.7 – Resultados das análises microbiológicas, químicas e físico-químicas da Fonte Ycuara

Lote	data de fabricação	identificação da amostra	Tipo de Embalagem	alcalinidade total	calcio	cloreto	condutividade	flúor	magnésio	pH	sódio	<i>Escherichia coli</i>	<i>Coliformes Totais</i>	<i>Bactérias Heterotróficas</i>	estação climática
L72196495P1	7/8/2017	Primavera 1	510 ml sem gás	20,3	33,4	12,5	50,5	0,08	15,2	7,1	3,0	ausente	ausente	ausente	inverno

L72446495P 1	1/9/2017	Primavera 2	510 ml sem gás	20,5	32,5	12,0	50,8	0,03	15,2	7,7	3,3	ausente	ausente	ausente	inverno
L72736495P 1	30/9/2017	Primavera 3	510 ml sem gás	19,5	33,5	12,5	198,6	0,15	16,2	8,0	3,5	ausente	ausente	ausente	primaver a
L72756495P 1	2/10/2017	Primavera 4	1,5 L sem gás	20,5	32,5	13,2	197,8	0,18	15,6	7,8	4,2	ausente	ausente	ausente	primaver a
L73006495P 1	27/10/2017	Primavera 5	510 ml sem gás	21,2	31,2	14,5	196,4	0,15	14,5	7,8	4,0	ausente	ausente	ausente	primaver a
L73176495P 1	13/11/2017	Primavera 6	1,5 L sem gás	20,2	10,4	11,5	128,4	0,10	10,2	7,2	1,6	ausente	ausente	ausente	primaver a
L73336495P 1	29/11/2017	Primavera 7	510 ml sem gás	20,5	16,8	10,2	135,6	0,12	12,3	6,9	2,0	ausente	ausente	ausente	primaver a
L73566495P 1	22/12/2017	Primavera 8	1,5 L sem gás	20,0	22,3	10,5	252,5	0,10	10,2	7,2	3,5	ausente	ausente	ausente	verão
L80096495P 1	9/1/2018	Primavera 9	1,5 L sem gás	21,5	26,5	11,4	265,5	0,12	12,6	7,2	3,5	ausente	ausente	ausente	verão
L80136495P 1	13/1/2018	Primavera 10	1,5 L sem gás	22,5	25,4	11,5	268,4	0,10	12,4	7,5	3,6	ausente	ausente	ausente	verão
L80166495P 1	16/1/2018	Primavera 11	1,5 L sem gás	22,6	24,5	11,0	260,5	0,12	11,5	7,4 5	3,4	ausente	ausente	ausente	verão
L80186495P 1	18/1/2018	Primavera 12	510 ml sem gás	20,5	23,5	11,5	263,5	0,15	10,8	7,5	3,5	ausente	ausente	ausente	verão
L80796495P 1	20/3/2018	Primavera 13		21,4	20,5	10,5	265,6	0,12	12,5	7,2	3,5	ausente	ausente	ausente	outono
L80806495P 1	21/3/2018	Primavera 14	510 ml sem gás	21,2	20,6	10,2	265,3	0,12	12,4	7,4	3,6	ausente	ausente	ausente	outono
L80876495P 1	28/3/2018	Primavera 15	1,5 L sem gás	21,5	22,6	10,5	265,4	0,10	12,5	7,4 4	3,5	ausente	ausente	ausente	outono

Classificação da água mineral: Água Mineral Alcalino Terrosa Fluoretada

Tabela A.8 – Resultados das análises microbiológicas, químicas e físico-químicas da Fonte Primavera

lote	hora do envase	data de fabricação	Identificação da amostra	tipo de embalagem	<i>Escherichia coli</i>	<i>Coliformes Totais</i>	<i>Bactérias Heterotróficas</i>	estação climática
F:10:01	02:53	10/01/2017	67320	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	verão
F:05:03	02:03	05/03/2017	67321	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	verão
F:24:03	01:57	24/03/2017	67322	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:05:05	05:05	05/05/2017	67323	0,5 L com gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:06:06	06:36	06/06/2017	67324	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:26:06	17:14	26/06/2017	67325	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F:04:07	17:57	04/07/2017	67326	0,330L com gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F:26:07	18:06	26/07/2017	67327	0,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno

F:07:08	16:40	07/08/2017	67328	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F:11:08	08:47	11/08/2017	67329	0,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F:12:08	05:52	12/08/2017	67330	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F:21:09	12:59	21/09/2017	67331	7 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F:23:09	19:21	23/09/2017	67332	4,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	primavera
F:23:09	20:29	23/09/2017	67333	4,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	primavera
F:04:10	20:29	04/10/2017	67334	4,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	Primavera
Classificação da água mineral: Água Mineral Fluoretada								

Tabela A.9 – Resultados das análises microbiológicas da Fonte Japi

lote	hora do envase	data de fabricação	identificação da amostra	tipo de embalagem	<i>Escherichia coli</i>	<i>Coliformes Totais</i>	<i>Bactérias Heterotróficas</i>	estação climática
F:02:11	02:51	02/11/2016	64851	4,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	primavera
F:15:12	11:23	15/12/2016	64852	4,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	primavera
F:15:12	14:47	15/12/2016	64853	4,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	primavera
F:06:02	08:38	06/02/2017	64854	6,25 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	verão
F:28:02	22:22	28/02/2017	64855	6,25 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	verão
F:29:03	22:22	29/03/2017	64856	4,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:31:03	14:47	31/03/2017	64857	4,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:01:04	02:55	01/04/2017	64858	4,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:18:04	21:17	18/04/2017	64971	4,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:16:05	22:29	16/05/2017	65085	0,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:18:05	21:20	18/05/2017	65086	0,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:11:08	21:50	11/08/2017	65087	4,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
Classificação da água mineral: Água Mineral Fluoretada								

Tabela A.10 – Resultados das análises microbiológicas da Fonte Alvorada

lote	hora do envase	data de fabricação	identificação da amostra	tipo de embalagem	<i>Escherichia coli</i>	<i>Coliformes Totais</i>	<i>Bactérias Heterotróficas</i>	estação climática
F06:11	XX:XX	06/11/2016	66077	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	primavera

F06:12	XX:XX	06/12/2016	66078	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	primavera
F07:12	XX:XX	07/12/2016	66079	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	primavera
F08:12	XX:XX	08/12/2016	66080	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	primavera
F13:12	XX:XX	13/12/2016	66081	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	primavera
F02:02	XX:XX	02/02/2017	66082	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	verão
F09:03	XX:XX	09/03/2017	66083	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	verão
F10:03	XX:XX	10/03/2017	66246	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	verão
F11:03	XX:XX	11/03/2017	66247	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	verão
F12:03	XX:XX	12/03/2017	66248	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	verão
F11:04	XX:XX	11/04/2017	66249	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F11:05	XX:XX	11/05/2017	66250	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F07:08	XX:XX	07/08/2017	66251	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno

Classificação da água mineral: Água Mineral Fluoretada e Fracamente Radioativa na Fonte

Tabela A.11 – Resultados das análises microbiológicas da Fonte Paineira

lote	Hora do envase	data de fabricação	Identificação da amostra	tipo de embalagem	<i>Escherichia coli</i>	<i>Coliformes Totais</i>	<i>Bactérias Heterotróficas</i>	estação climática
F24:01	02:45	24/01/2017	68952	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	verão
F25:01	14:57	25/01/2017	69853	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	verão
F02:03	02:56	02/03/2017	68954	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	verão
F:20:04	19:12	20/04/2017	68955	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:30:05	13:23	30/05/2017	68956	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:30:06	11:49	16/06/2017	68957	0,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:08:07	06:06	08/07/2017	68958	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F21:07	17:14	21/07/2017	68959	0,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F:26:07	07:51	26/07/2017	68960	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F:03:09	04:36	03/09/2017	68961	0,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F:17:09	06:36	17/09/2017	68962	0,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F:27:09	19:18	27/09/2017	68963	0,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	primavera

F:18:10	03:13	18/10/2017	68984	0,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	primavera
---------	-------	------------	-------	---------------	----------	----------	----	-----------

Classificação da água mineral: Água Mineral Fluoretada e Radioativa na Fonte

Tabela A.12 – Resultados das análises microbiológicas da Fonte Água Leve

lote	hora do envase	data de fabricação	nome da fonte	identificação da amostra	tipo de embalagem	<i>Escherichia coli</i>	<i>Coliformes Totais</i>	<i>Bactérias Heterotróficas</i>	estação climática
F05:01	XX:XX	05/01/2017	Água Leve I	69471	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	verão
F02:02	XX:XX	08/02/2017	Água Leve I	69472	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	verão
F07:03	XX:XX	09/03/2017	Água Leve I	69473	0,650L sem gás	Ausência	Ausência	<1	verão
F19:04	XX:XX	19/04/2017	Água Leve I	69481	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:22:04	10:39	22/04/2017	Água Leve I	69474	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:18:05	04:32	18/05/2017	Água Leve I	69475	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:08:06	XX:XX	08/06/2017	Água Leve I	69476	0,650 sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:13:06	XX:XX	13/06/2017	Água Leve I	69477	0,650 sem gás	Ausência	Ausência	<1	outono
F:04:07	XX:XX	04/07/2017	Água Leve I	69478	0,33L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F:17:07	XX:XX	17/07/2017	Água Leve I	69479	0,30L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F:19:07	10:39	19/07/2017	Água Leve I	69480	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F:09:08	20:08	09/08/2017	Água Leve I	69482	0,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F:19:08	05:23	19/08/2017	Água Leve I	69483	0,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	inverno
F:22:09	02:51	22/09/2017	Água Leve I	69484	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	primavera
F:25:09	05:33	25/09/2017	Água Leve I	69485	1,5 L sem gás	Ausência	Ausência	<1	Primavera

Classificação da água mineral: Água Mineral Fluoretada e Fracamente Radioativa na Fonte

Tabela A.13 – Resultados das análises microbiológicas da Fonte Água Leve I

lote	hora do envase	data de fabricação	nome da fonte	identificação da amostra	tipo de embalagem	cidade	estado	<i>Escherichia coli</i>	<i>Coliformes Totais</i>	<i>Bactérias Heterotróficas</i>	estação climática
F28:01	02:06	28/01/2017	Água Leve II	17.545.347/6	0,5 L sem gás	Jacutinga	MG	Ausente	Ausente	Ausente	verão
F19:02	10:56	19/02/2017	Água Leve II	17.545.347/22	0,5 L sem gás	Jacutinga	MG	Ausente	Ausente	Ausente	verão
F01:04	08:24	01/04/2017	Água Leve II	17.545.347/9	1,5 L sem gás	Jacutinga	MG	Ausente	Ausente	Ausente	outono
F19:04	11:54	19/04/2017	Água Leve II	17.545.347/1	0,5 L sem gás	Jacutinga	MG	Ausente	Ausente	Ausente	outono
F19:04	18:28	19/04/2017	Água Leve II	17.545.347/26	0,5 L sem gás	Jacutinga	MG	Ausente	Ausente	Ausente	outono
F:23:06	05:03	23/06/2017	Água Leve II	17.545.347/7	1,5 L sem gás	Jacutinga	MG	Ausente	Ausente	Ausente	inverno
F:12:07	00:59	12/07/2017	Água Leve II	17.545.347/10	1,5 L sem gás	Jacutinga	MG	Ausente	Ausente	Ausente	inverno
F:11:08	03:15	11/08/2017	Água Leve II	17.545.347/23	2,25 L sem gás	Jacutinga	MG	Ausente	Ausente	Ausente	inverno
F15:08	07:42	15/08/2017	Água Leve II	17.545.347/16	1,5 L sem gás	Jacutinga	MG	Ausente	Ausente	Ausente	inverno
F17:08	21:19	17/08/2017	Água Leve II	17.545.347/25	1,5 L sem gás	Jacutinga	MG	Ausente	Ausente	Ausente	inverno
F23:08	02:30	23/08/2017	Água Leve II	17.545.347/21	1,5 L sem gás	Jacutinga	MG	Ausente	Ausente	Ausente	inverno
F24:09	23:44	24/09/2017	Água Leve II	17.545.347/13	0,5 L sem gás	Jacutinga	MG	Ausente	Ausente	Ausente	primavera
F28:09	08:24	28/09/2017	Água Leve II	17.545.347/14	0,5 L sem gás	Jacutinga	MG	Ausente	Ausente	Ausente	Primavera

Classificação da água mineral: Água Mineral Fluoretada e Radioativa na Fonte

Tabela A.14 – Resultados das análises microbiológicas da Fonte Água Leve II

lote	hora do envase	data de fabricação	nome da fonte	Identificação da amostra	tipo de embalagem	<i>Escherichia coli</i>	<i>Coliformes Totais</i>	<i>Bactérias Heterotróficas</i>	estação climática
F18:01	22:07	18/01/2017	Água Leve III	17.545.347/3	0,5 L sem gás	Ausente	Ausente	Ausente	verão
F19:02	17:24	19/02/2017	Água Leve III	17.545.347/2	0,5 L sem gás	Ausente	Ausente	Ausente	verão
F02:03	02:42	02/03/2017	Água Leve III	17.545.347/4	1,5 L sem gás	Ausente	Ausente	Ausente	verão
F24:04	01:25	24/04/2017	Água Leve III	17.545.347/8	0,5 L sem gás	Ausente	Ausente	Ausente	outono
F26:04	23:10	26/04/2017	Água Leve III	17.545.347/5	1,5 L sem gás	Ausente	Ausente	Ausente	outono
F:27:05	07:56	27/05/2017	Água Leve III	17.545.347/11	2,25 L sem gás	Ausente	Ausente	Ausente	outono
F04:06	04:22	04/06/2017	Água Leve III	17.545.347/15	1,5 L sem gás	Ausente	Ausente	Ausente	outono
F04:07	15:27	04/07/2017	Água Leve III	15.545.347/20	1,5 L sem gás	Ausente	Ausente	Ausente	inverno

F17:08	21:48	17/08/2017	Água Leve III	17.545.347/19	1,5 L sem gás	Ausente	Ausente	Ausente	inverno
F25:08	04:09	25/08/2017	Água Leve III	15.545.347/17	0,5 L sem gás	Ausente	Ausente	Ausente	inverno
F28:08	14:39	28/08/2017	Água Leve III	17.545.347/24	1,5 L sem gás	Ausente	Ausente	Ausente	inverno
F28:09	16:03	28/09/2017	Água Leve III	17.545.347/18	1,5 L sem gás	Ausente	Ausente	Ausente	primavera
F11:10	04:39	11/10/2017	Água Leve III	17.545.347/12	1,5 L sem gás	Ausente	Ausente	Ausente	Primavera
Classificação da água mineral: Água Mineral Fluoretada e Fracamente Radioativa na Fonte									

Tabela A.15 – Resultados das análises microbiológicas da Fonte Água Leve III

lote	hora do envase	data de fabricação	nome da fonte	Identificação da amostra	tipo de embalagem	<i>Escherichia coli</i>	<i>Coliformes Totais</i>	<i>Bactérias Heterotróficas</i>	estação climática
LXXX	XX:XX	XX/XX/XX	Maestro	68073	20 litros sem gás	Ausência	Presença	260	Não se sabe
L11T	20:25	30/09/2017	Maestro	68074	20 litros sem gás	Ausência	Presença	230	primavera
L11T	20:35	30/09/2017	Maestro	69486	20 litros sem gás	Ausência	Ausência	371	primavera
L11T	20:33	30/09/2017	Maestro	69487	20 litros sem gás	Ausência	Presença	480	primavera
L11T	20:34	30/09/2017	Maestro	69488	20 litros sem gás	Ausência	Presença	94	primavera
L11T	20:24	30/09/2017	Maestro	69489	20 litros sem gás	Ausência	Ausência	48	primavera
L11T	20:33	30/09/2017	Maestro	69490	20 litros sem gás	Ausência	Presença	320	primavera
L11T	06:34	27/11/2017	Maestro	17.545.347/29	10 litros sem gás	Ausência	Presença	Ausência	primavera
L11T	06:35	27/11/2017	Maestro	17.545.347/27	10 litros sem gás	Ausência	Presença	Ausência	primavera
L11T	06:35	27/11/2017	Maestro	17.545.347/28	10 litros sem gás	Ausência	Presença	Ausência	primavera
L11T	14:39	29/11/2017	Maestro	17.545.347/30	10 litros sem gás	Ausência	Presença	Ausência	Primavera
Classificação da água mineral: Água Mineral Fluoretada e Fracamente Radioativa na Fonte									

Tabela A.16 – Resultados das análises microbiológicas da Fonte Maestro

B - HISTOGRAMAS DOS PARÂMETROS DAS FONTES

B.1 Histogramas da Fonte Santo Antonio

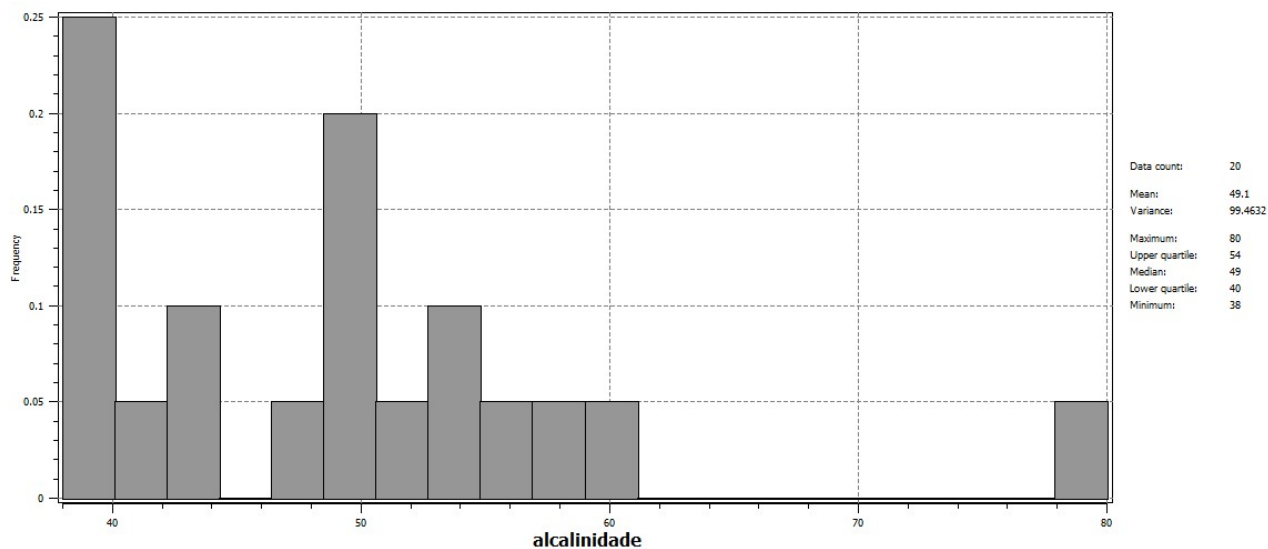


Figura B.1.1: Histograma da alcalinidade da Fonte Santo Antonio

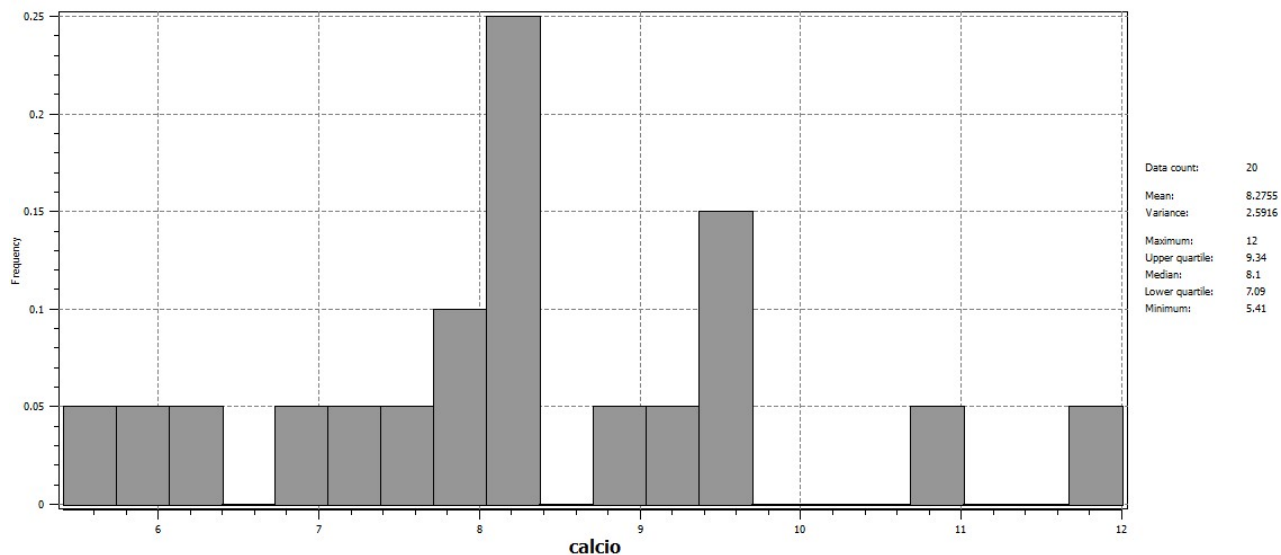


Figura B.1.2: Histograma do cálcio da Fonte Santo Antonio

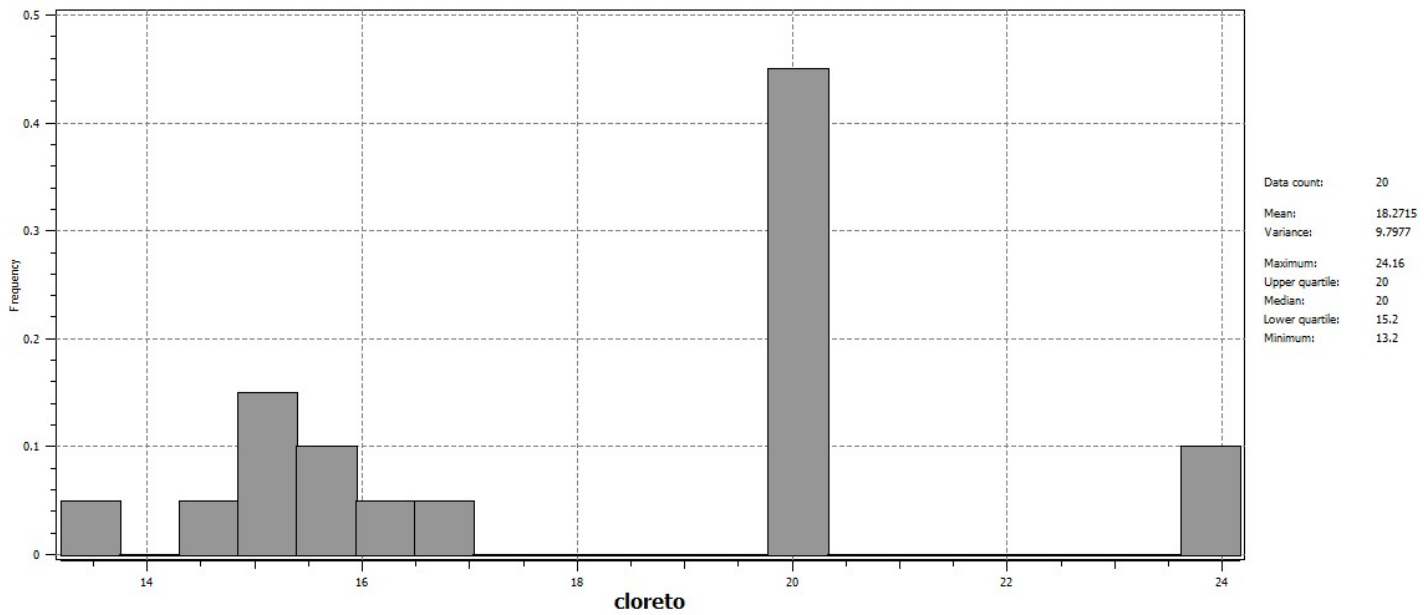


Figura B.1.3: Histograma do cloreto da Fonte Santo Antonio

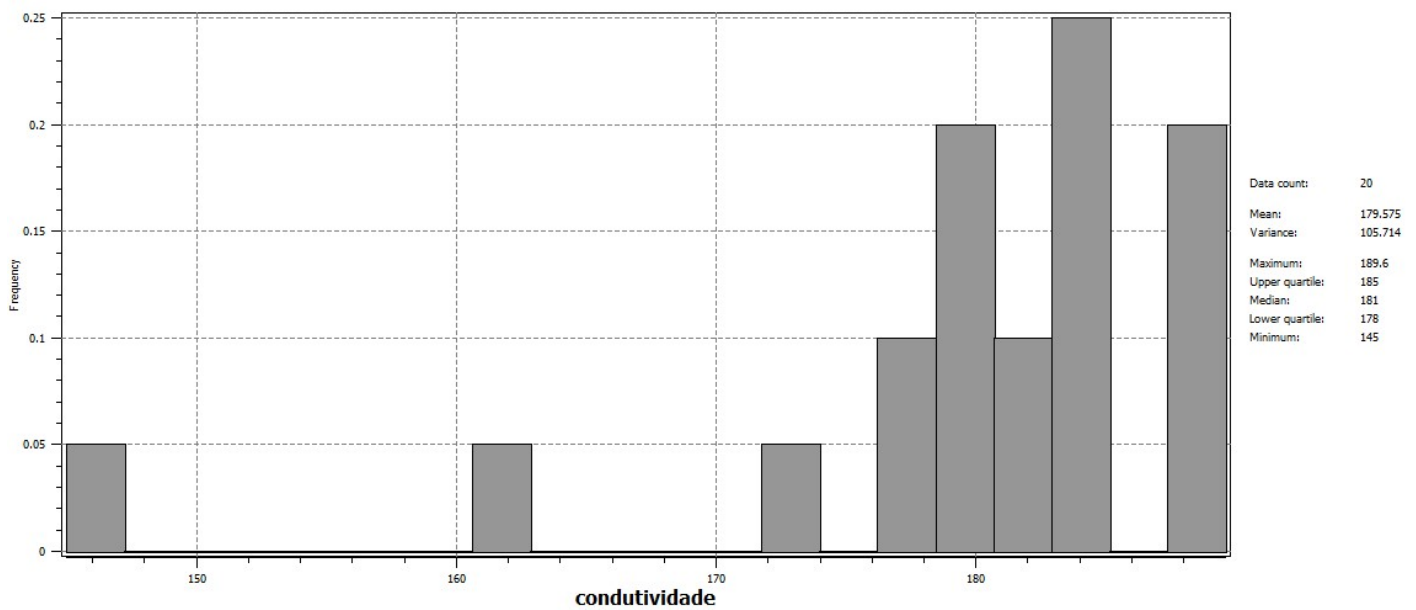


Figura B.1.4: Histograma da condutividade da Fonte Santo Antonio

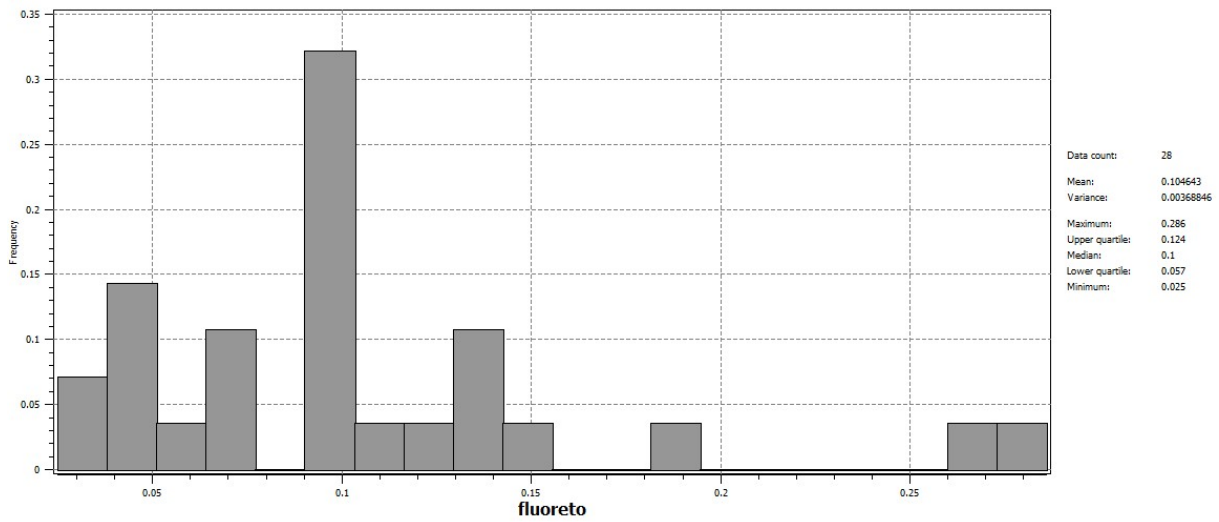


Figura B.1.5: Histograma do fluoreto da Fonte Santo Antonio

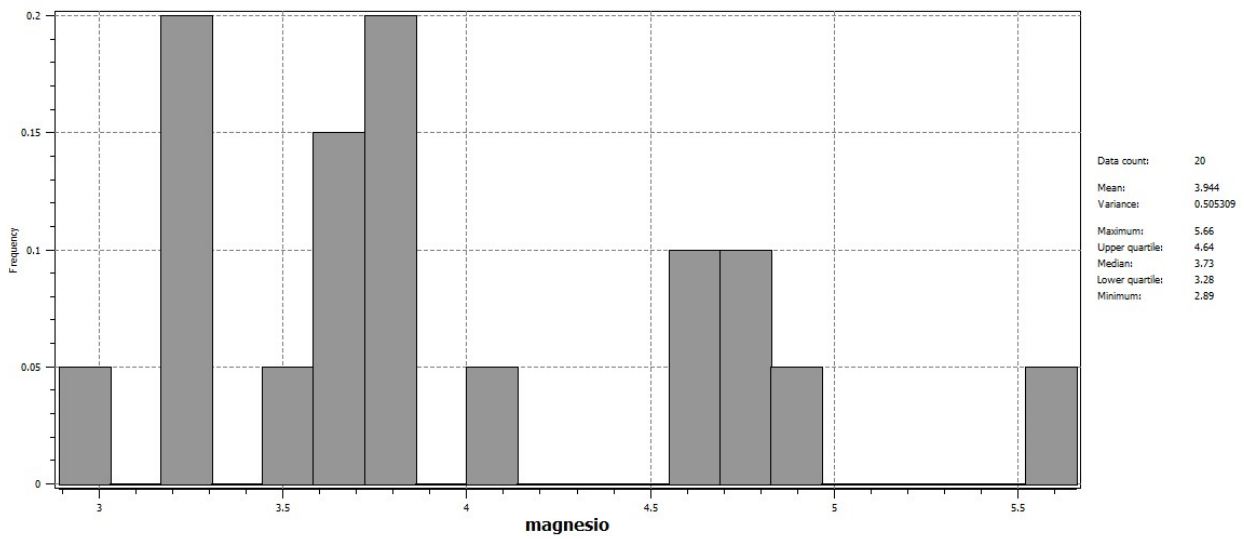


Figura B.1.6: Histograma do magnésio da Fonte Santo Antonio

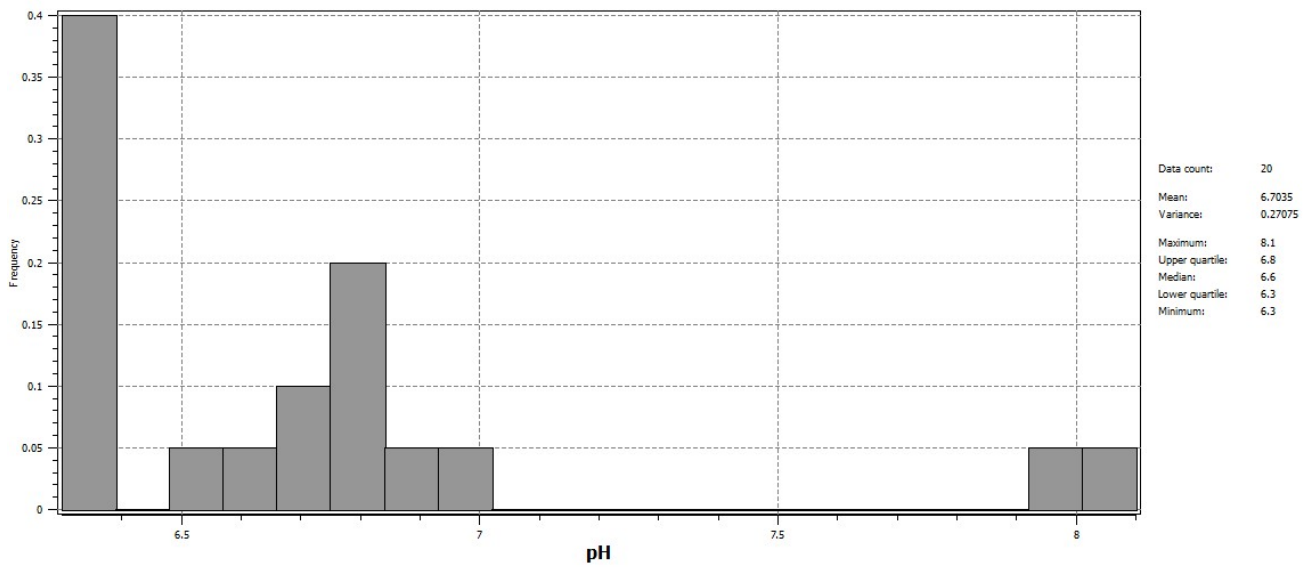


Figura B.1.7: Histograma do pH da Fonte Santo Antonio

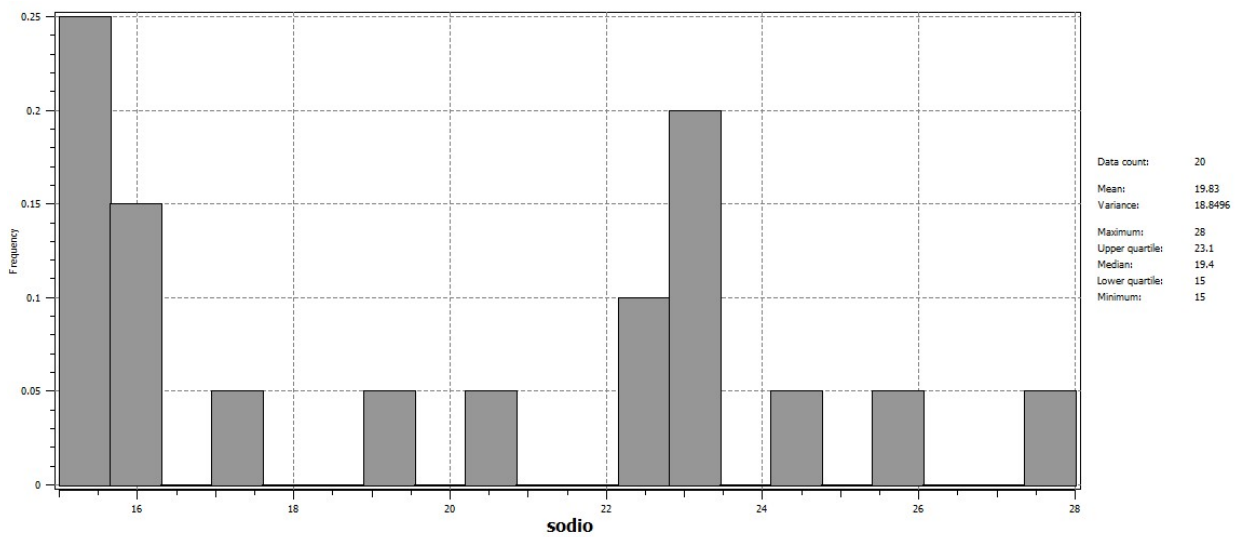


Figura B.1.8: Histograma do sódio da Fonte Santo Antonio

B.2 Histogramas da Fonte Sonja

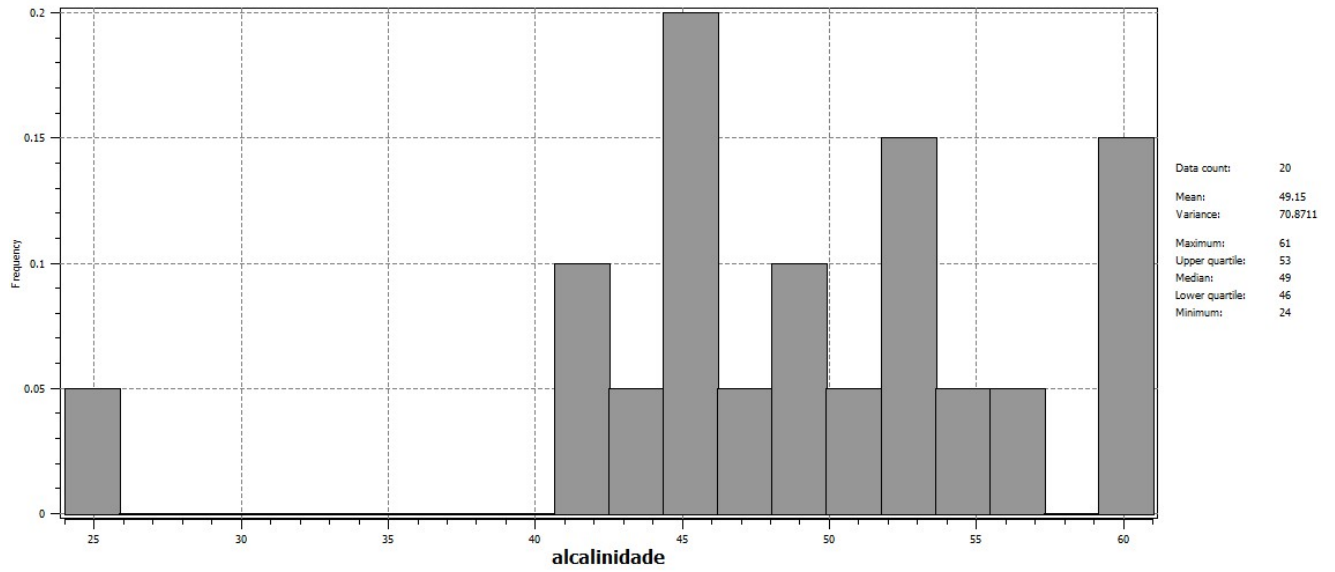


Figura B.2.1: Histograma da alcalinidade da Fonte Sonja

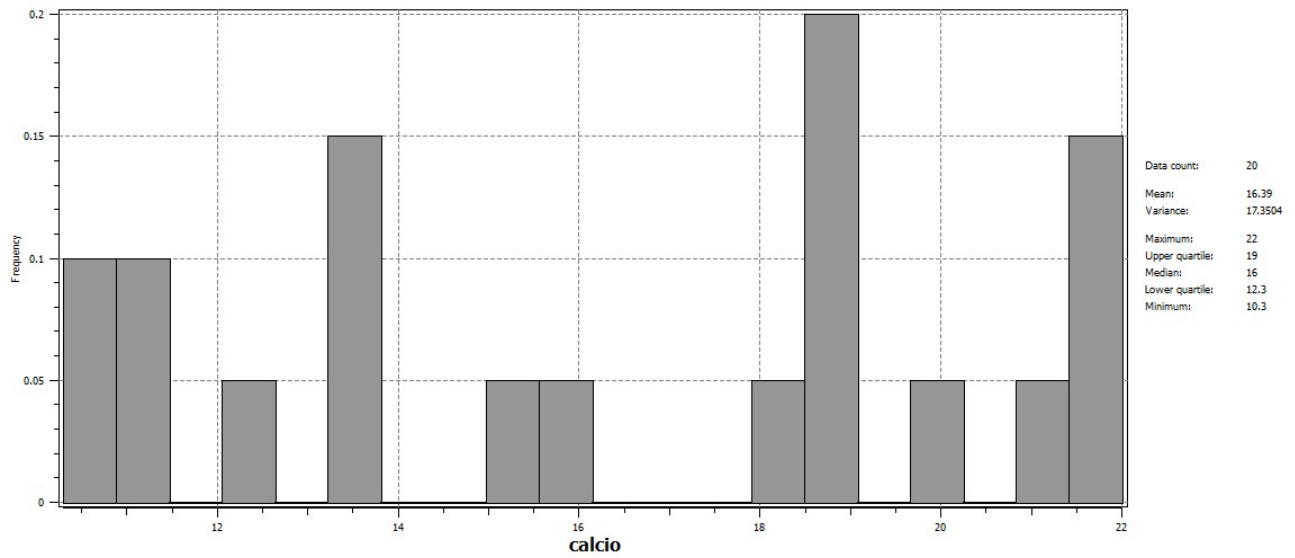


Figura B.2.2: Histograma do cálcio da Fonte Sonja

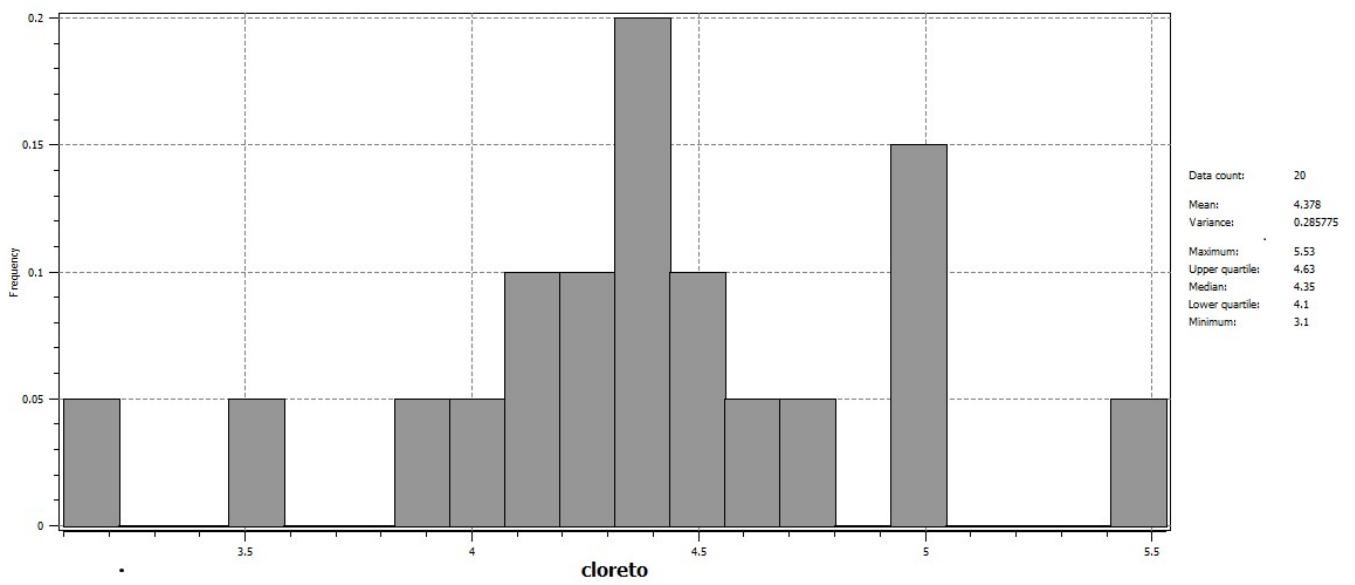


Figura B.2.3: Histograma do cloreto da Fonte Sonja

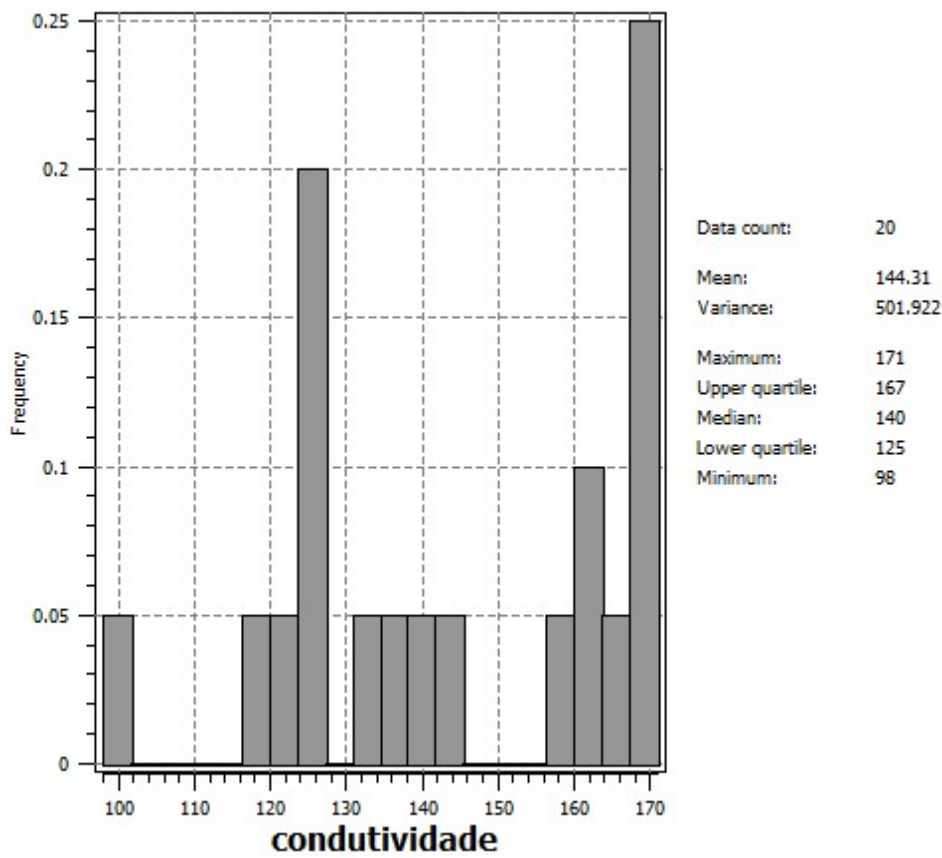


Figura B.2.4: Histograma da condutividade da Fonte Sonja

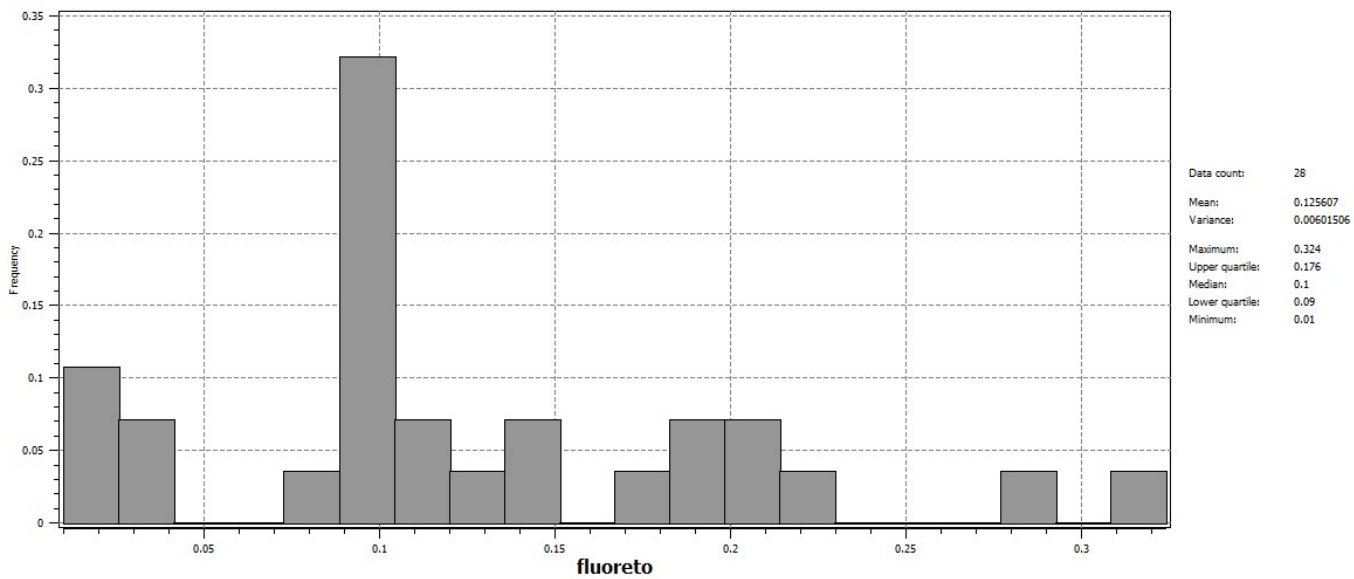


Figura B.2.5: Histograma do fluoreto da Fonte Sonja

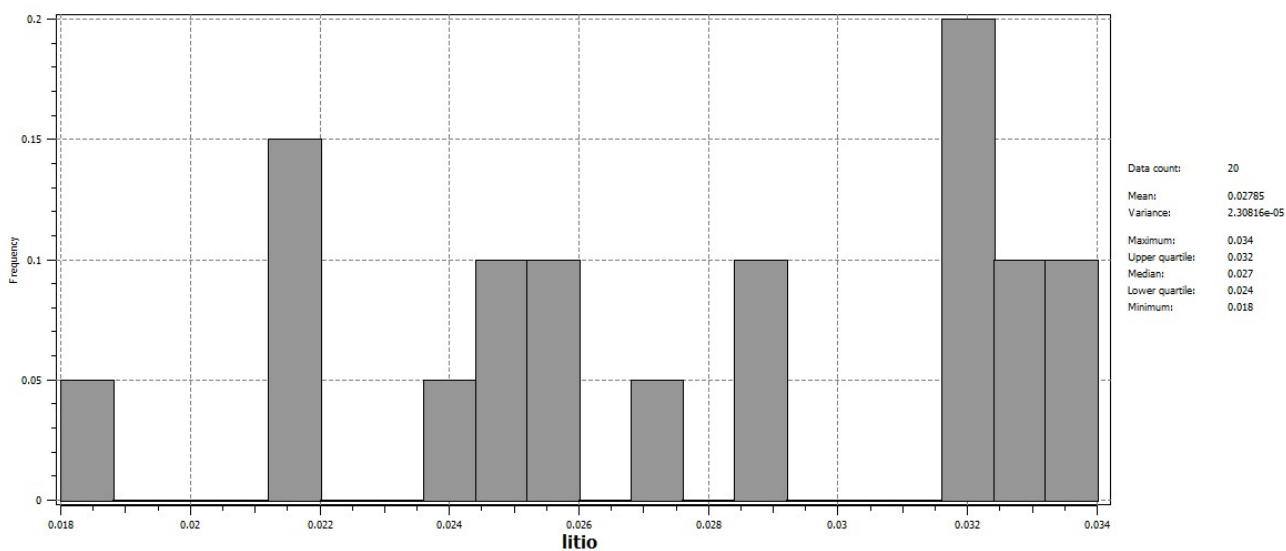


Figura B.2.6: Histograma do lítio da Fonte Sonja

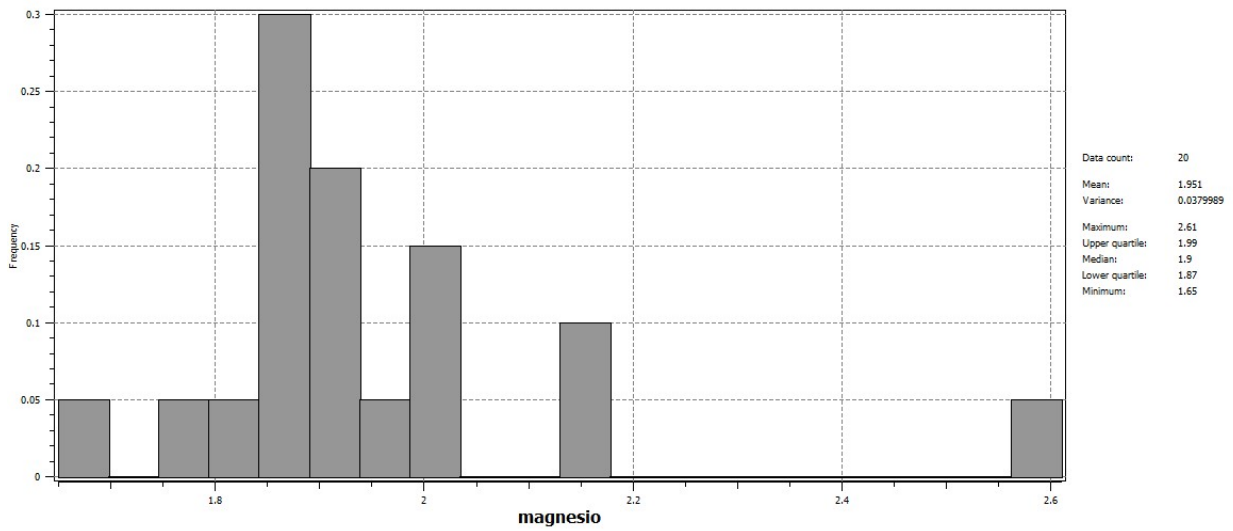


Figura B.2.7: Histograma do magnésio da Fonte Sonja

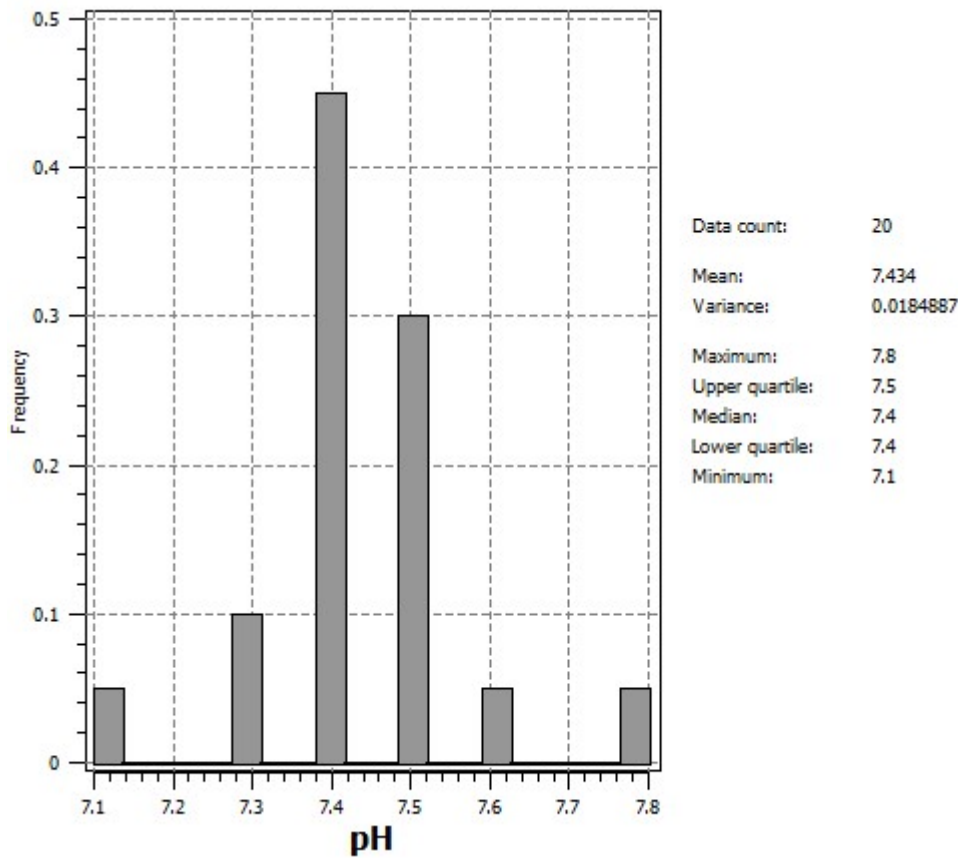


Figura B.2.8: Histograma do pH da Fonte Sonja

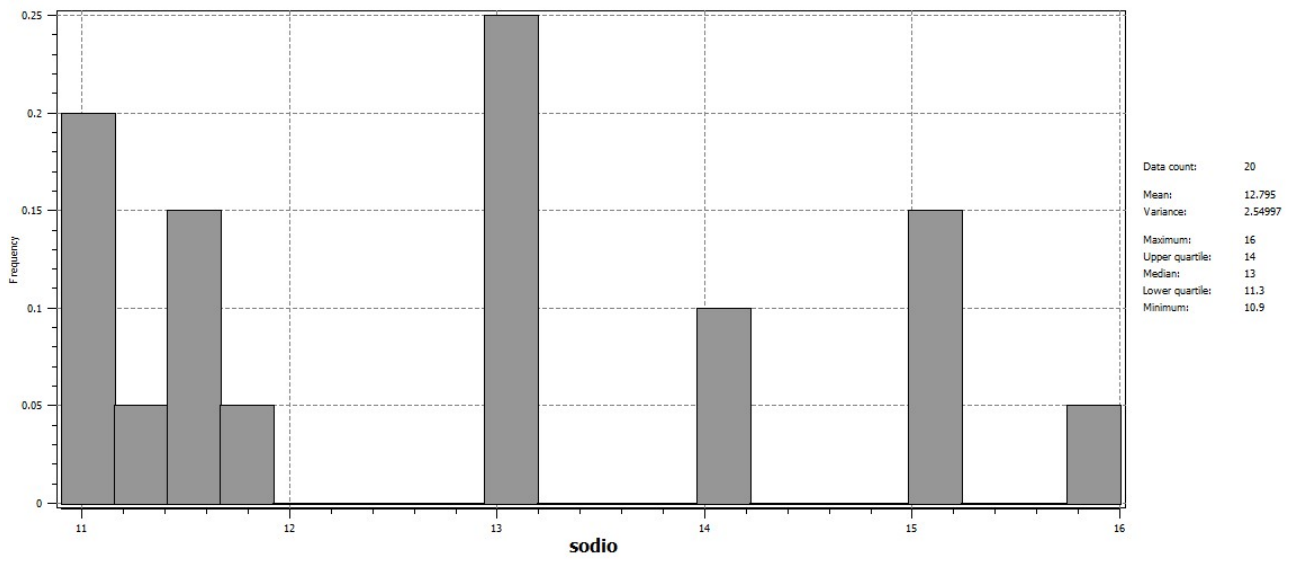


Figura B.2.9: Histograma do sódio da Fonte Sonja

B.3 Histogramas da Fonte Santa Lúcia

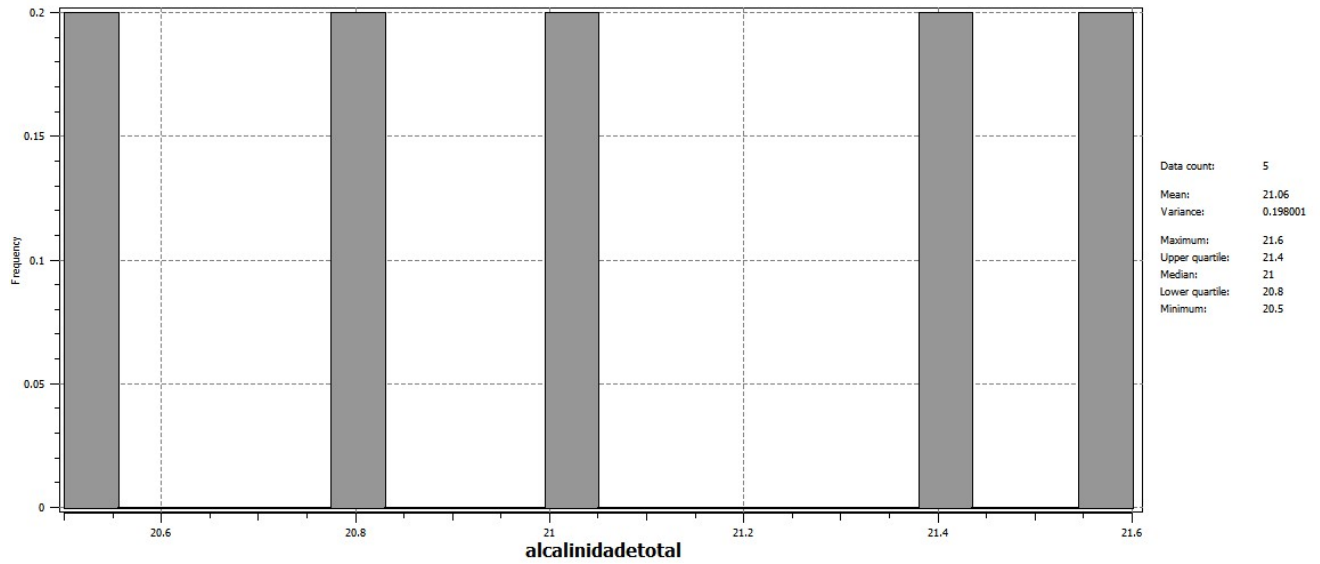


Figura B.3.1: Histograma da alcalinidade da Fonte Santa Lúcia

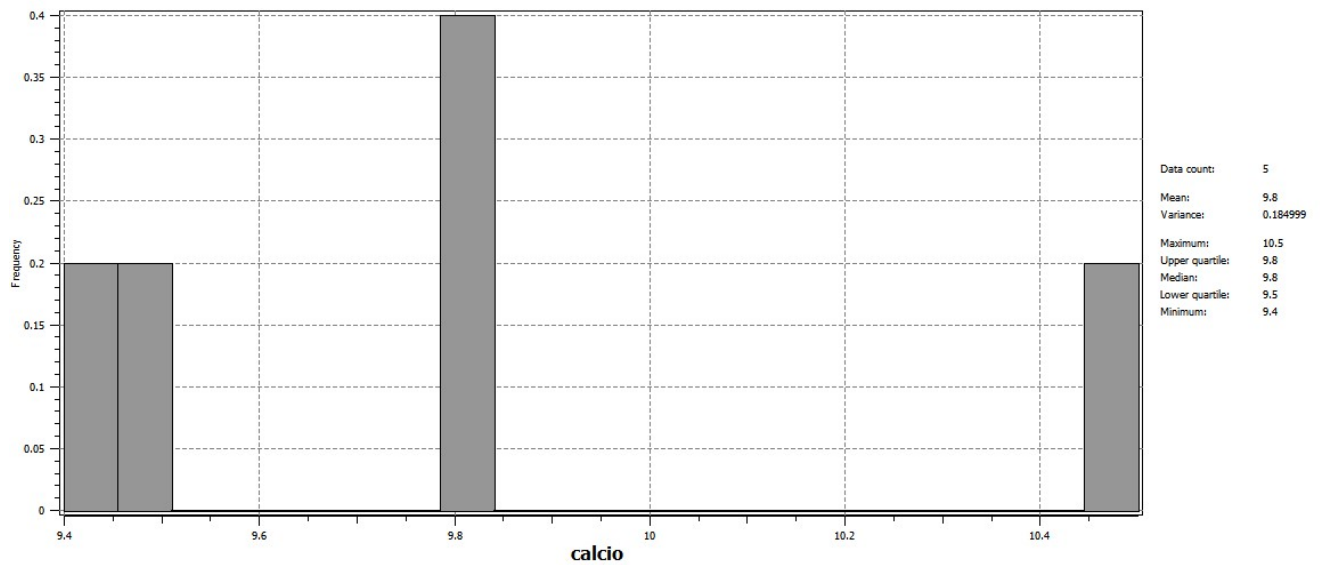


Figura B.3.2: Histograma do cálcio da Fonte Santa Lúcia

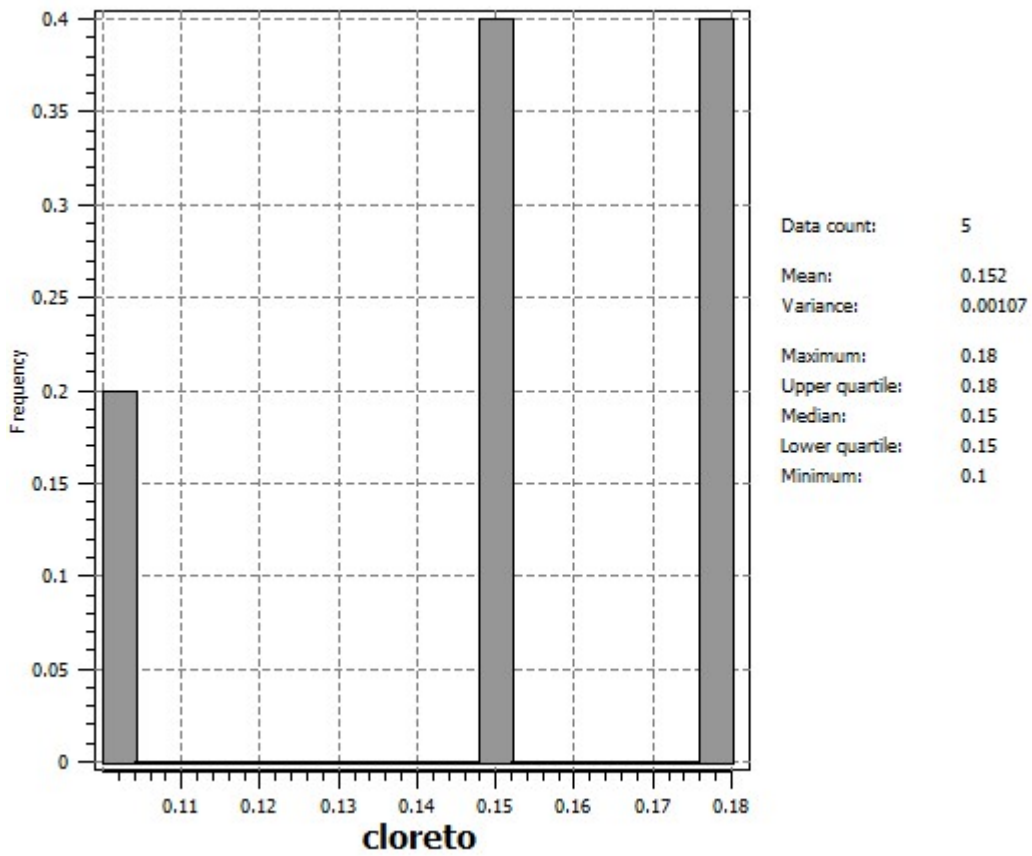


Figura B.3.3: Histograma do cloreto da Fonte Santa Lúcia

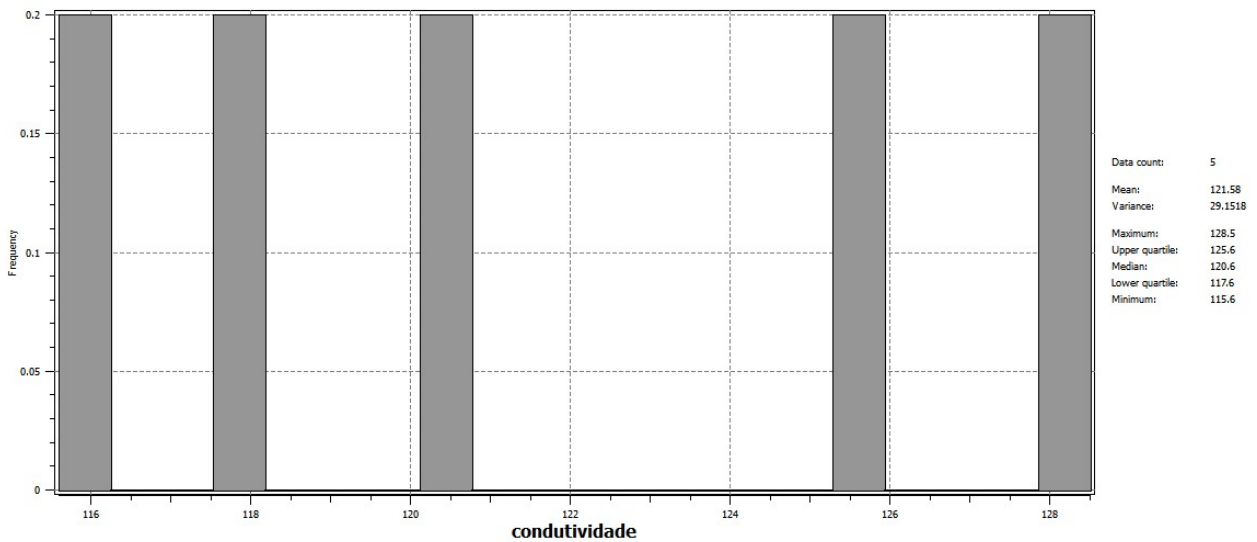


Figura B.3.4: Histograma da condutividade da Fonte Santa Lúcia

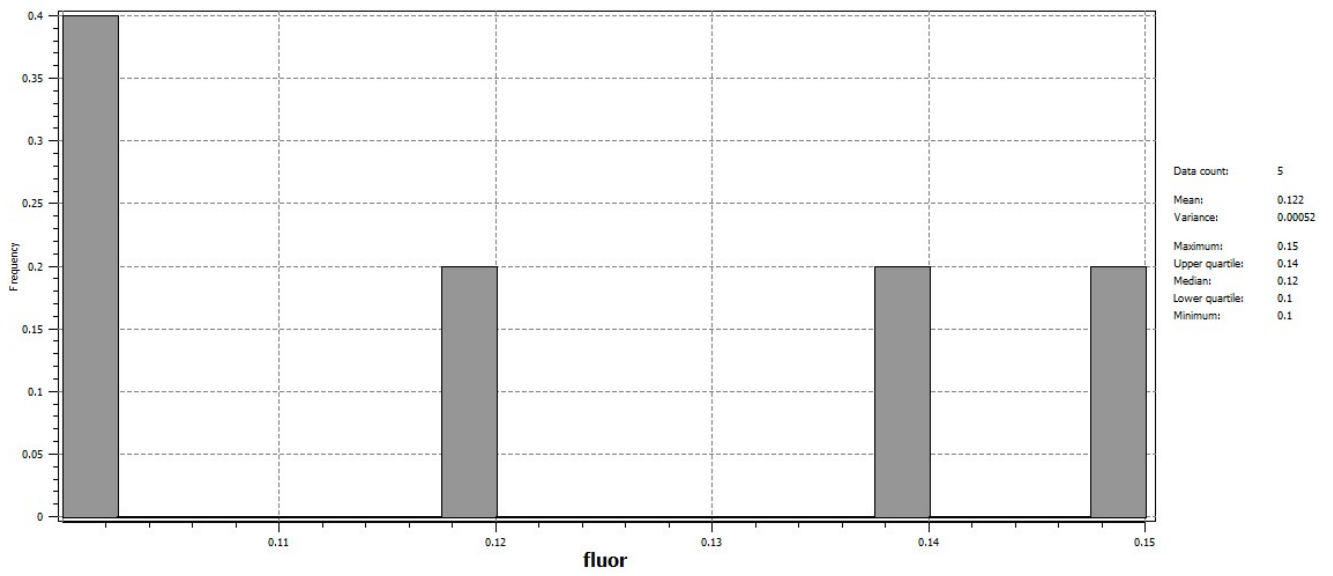


Figura B.3.5: Histograma do fluoreto da Fonte Santa Lúcia

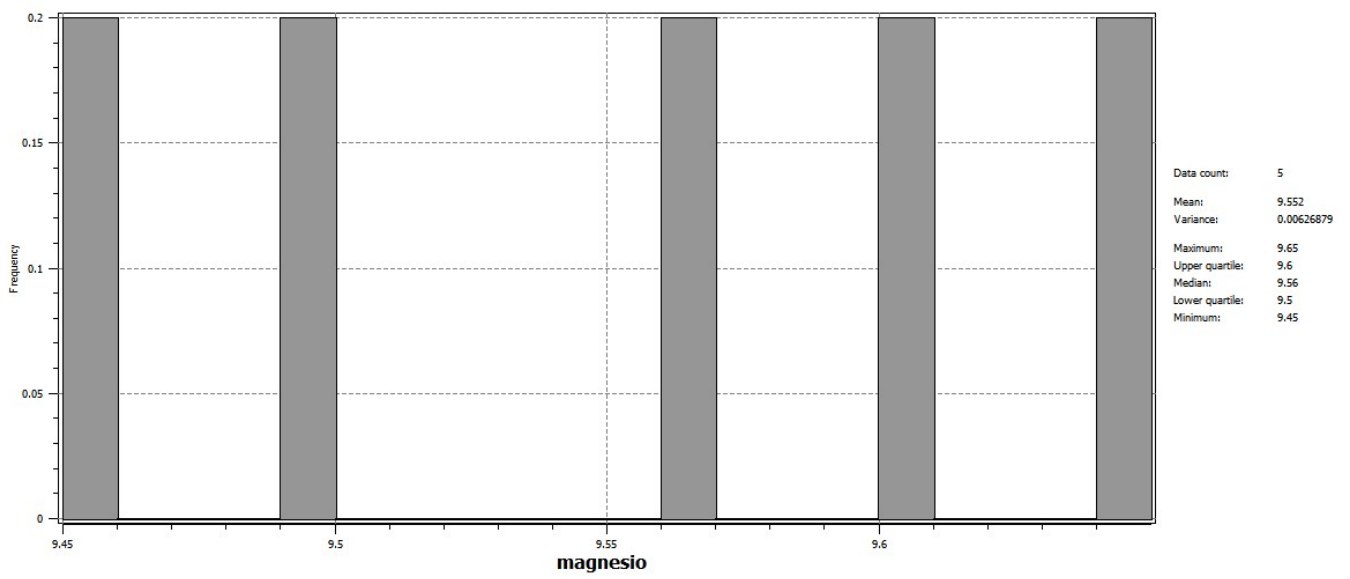


Figura B.3.6: Histograma do fluoreto da Fonte Santa Lúcia

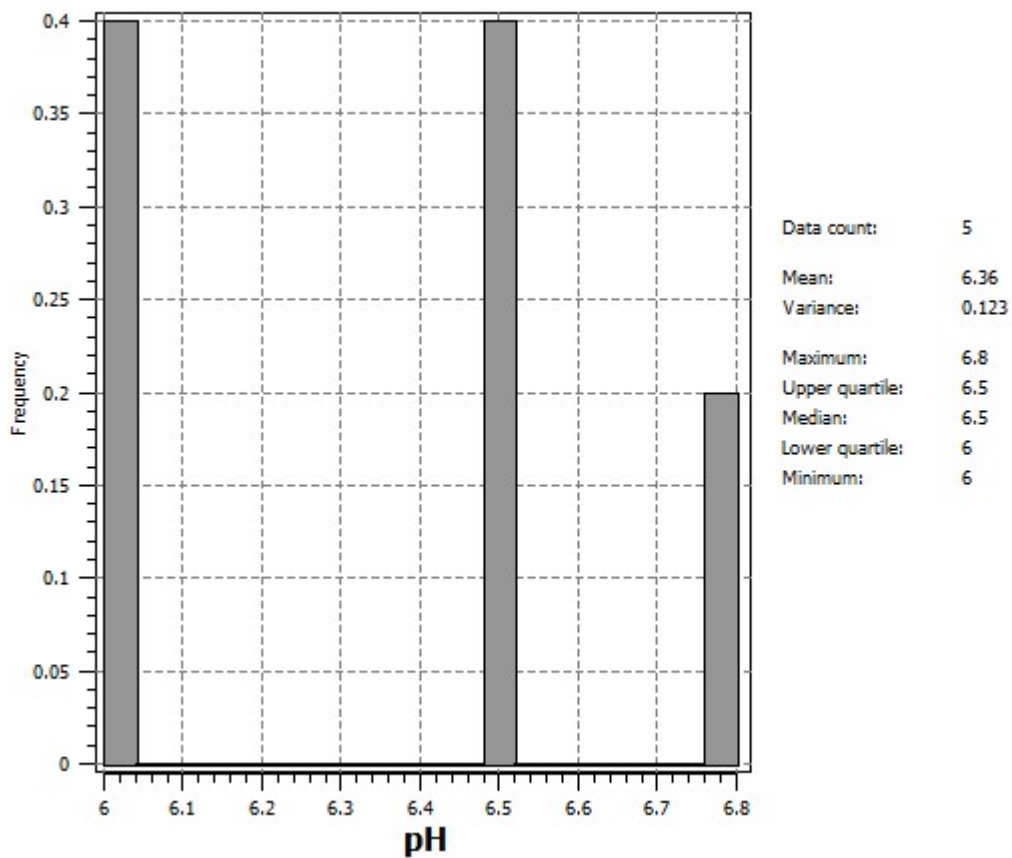


Figura B.3.7: Histograma do pH da Fonte Santa Lúcia

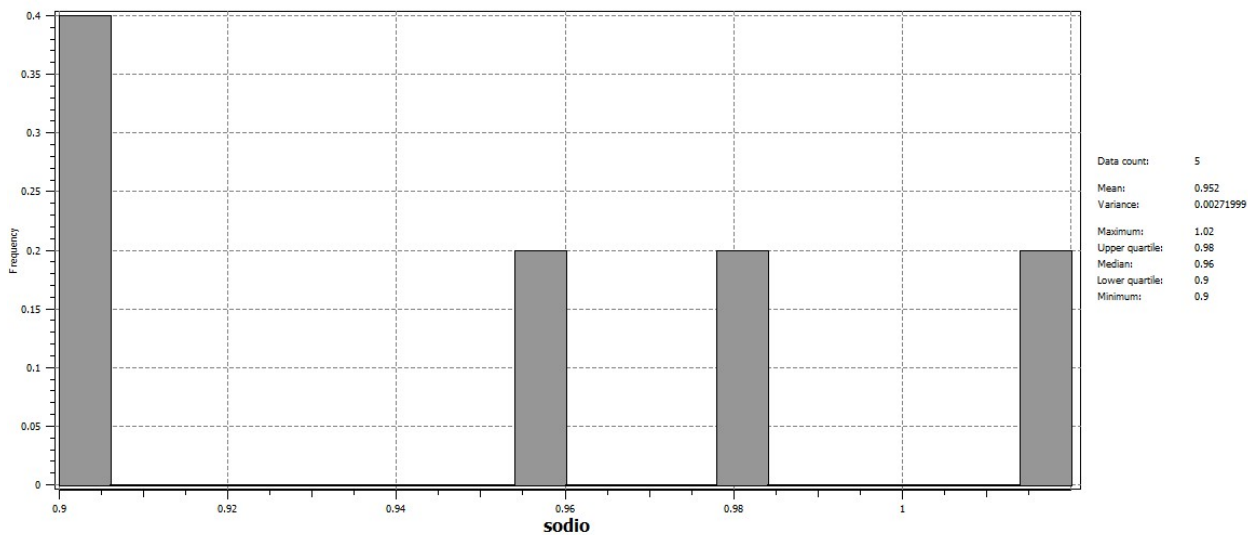


Figura B.3.8: Histograma do sódio da Fonte Santa Lúcia

B.4 Histogramas da Fonte Primavera

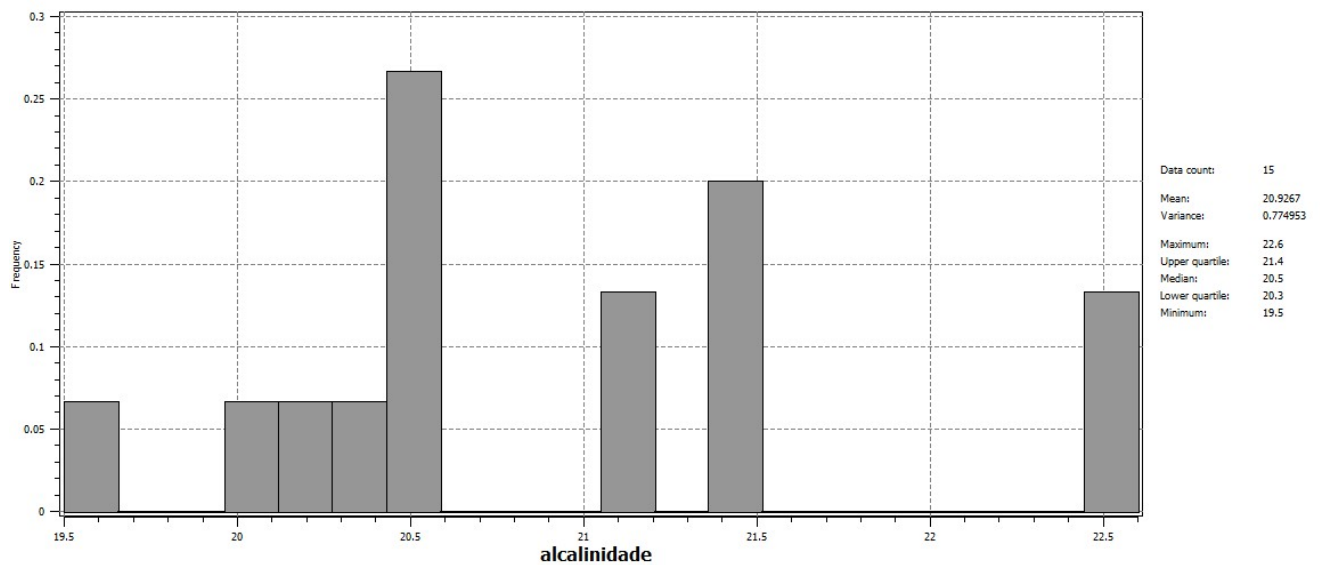


Figura B.4.1: Histograma da alcalinidade da Fonte Primavera

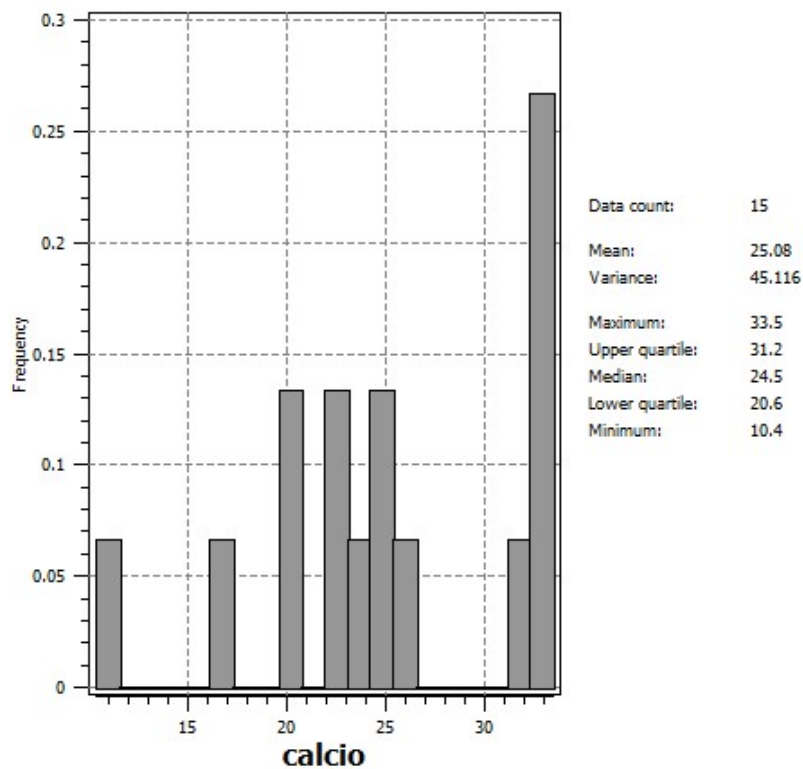


Figura B.4.2: Histograma do cálcio da Fonte Primavera

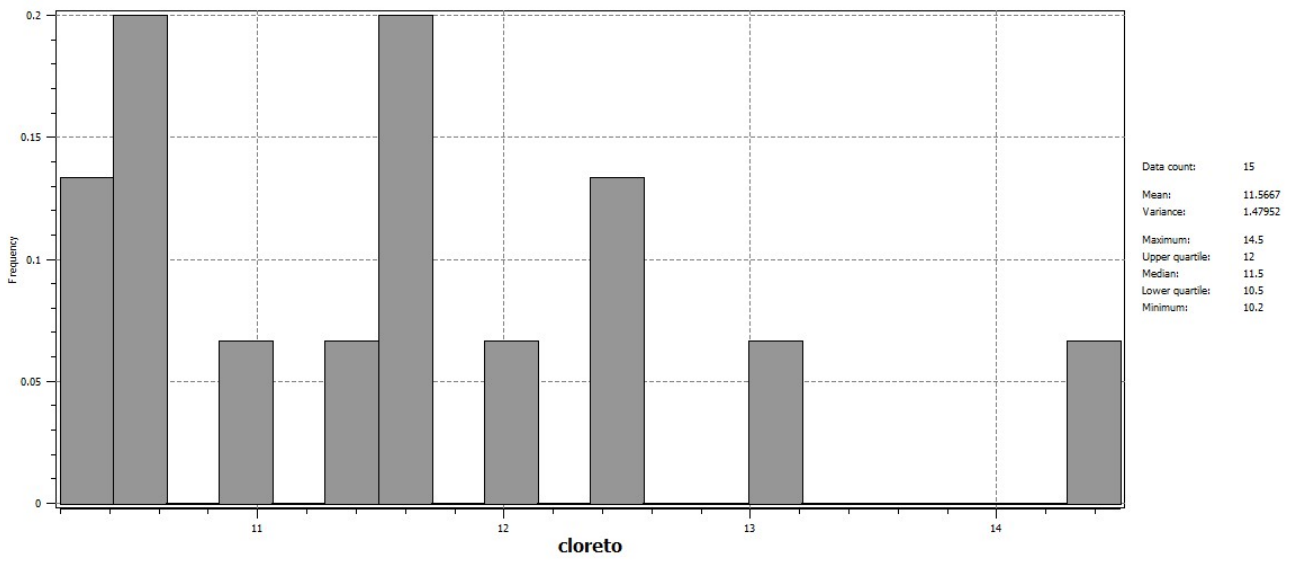


Figura B.4.3: Histograma do cloreto da Fonte Primavera

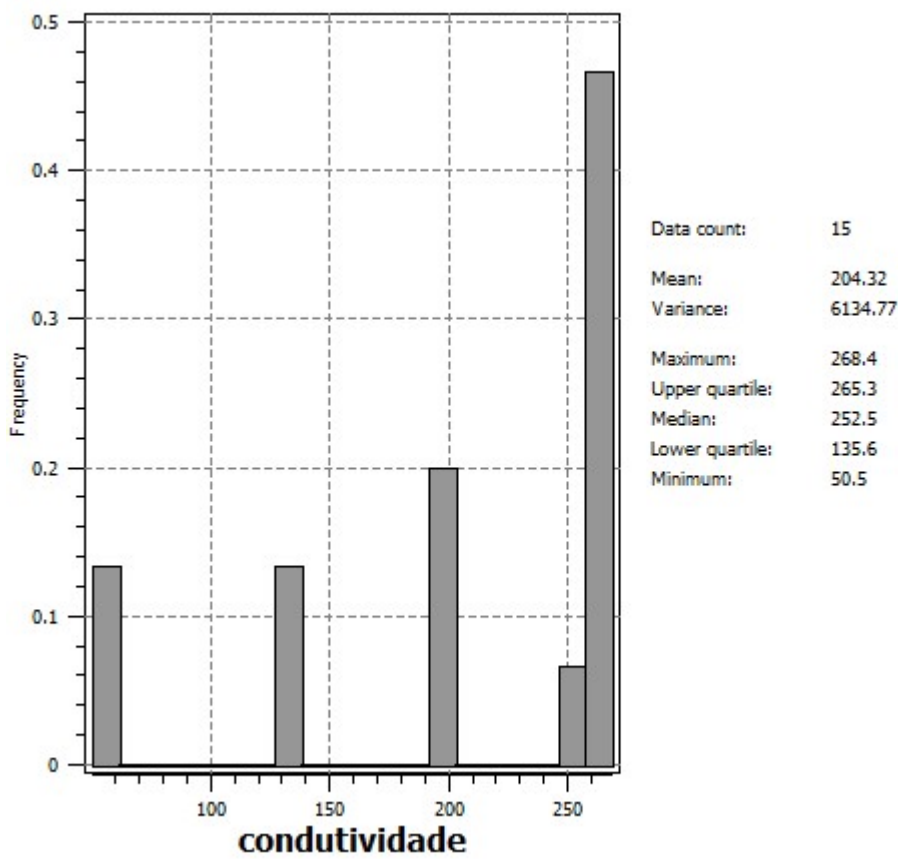


Figura B.4.4: Histograma da condutividade da Fonte Primavera

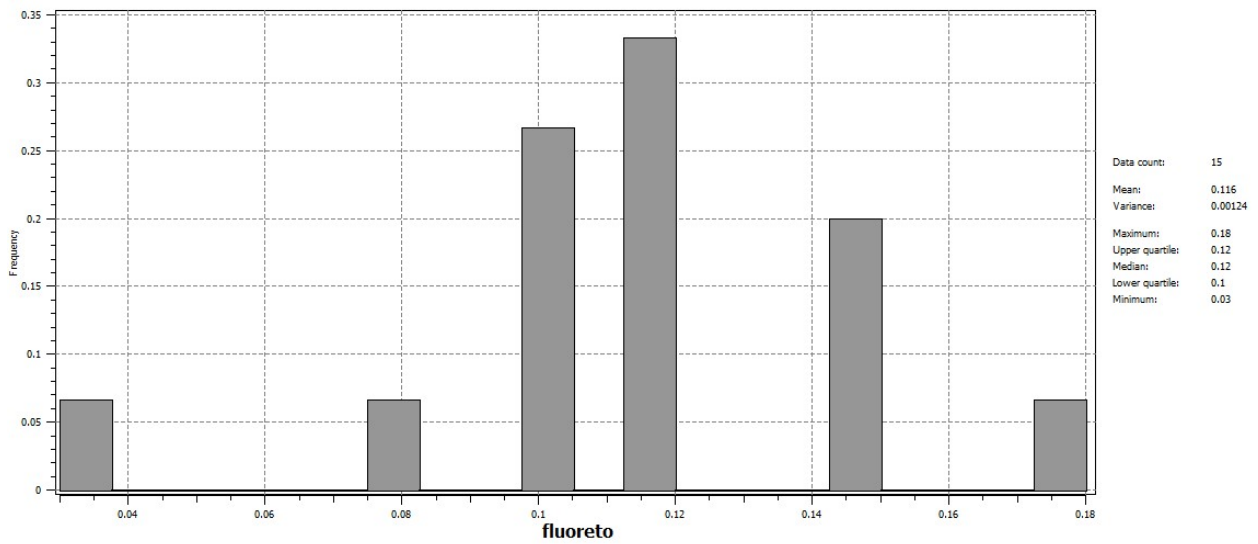


Figura B.4.5: Histograma do fluoreto da Fonte Primavera

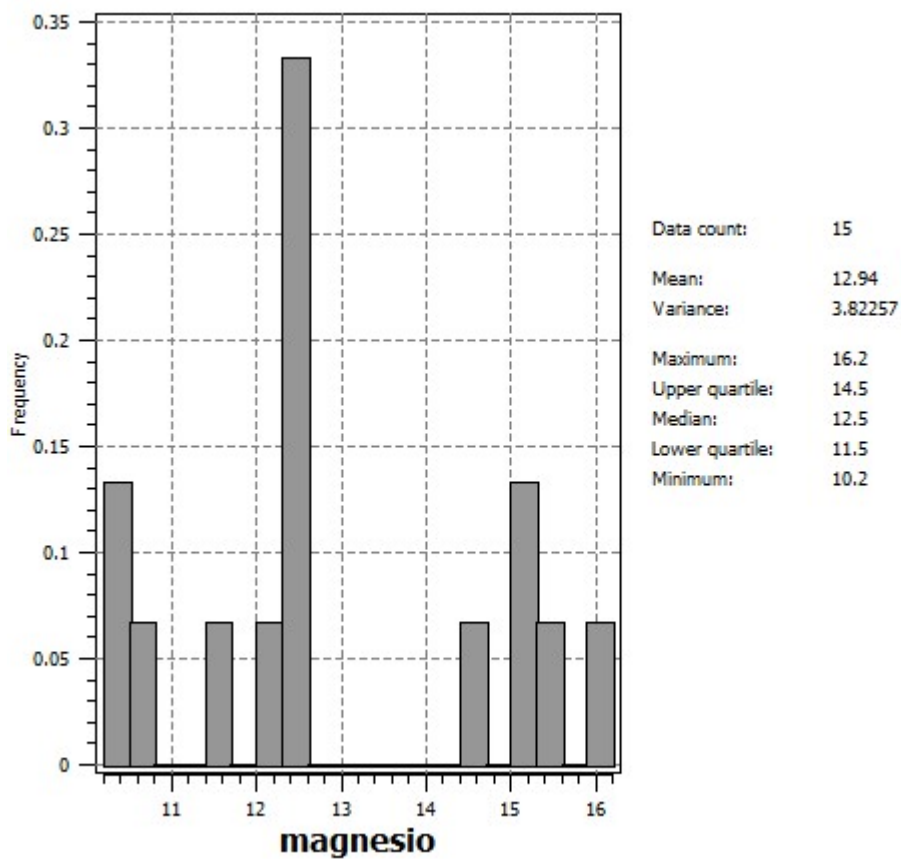


Figura B.4.6: Histograma do magnésio da Fonte Primavera

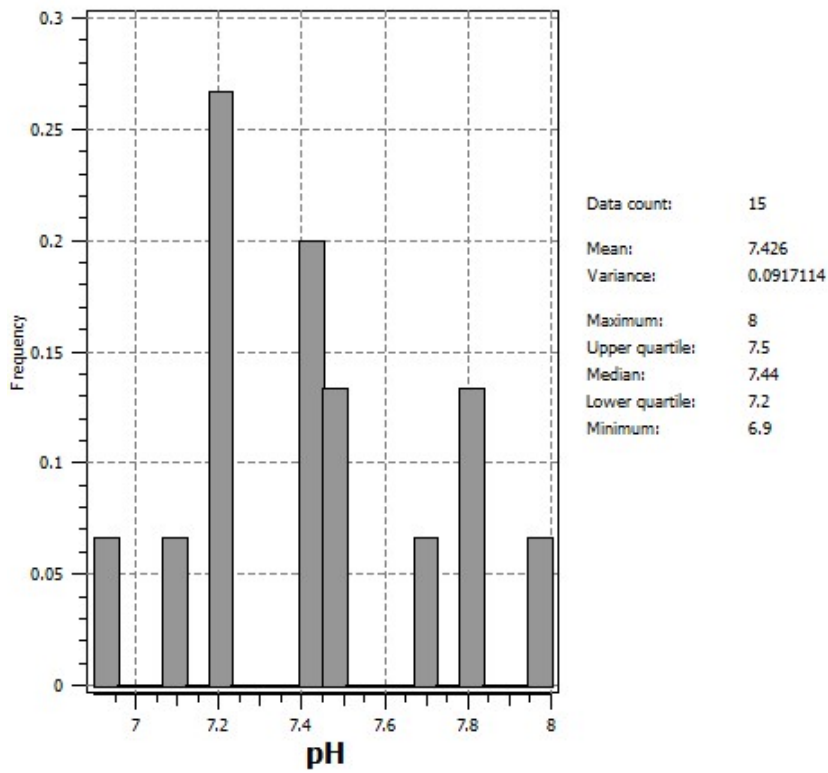


Figura B.4.7: Histograma do pH da Fonte Primavera

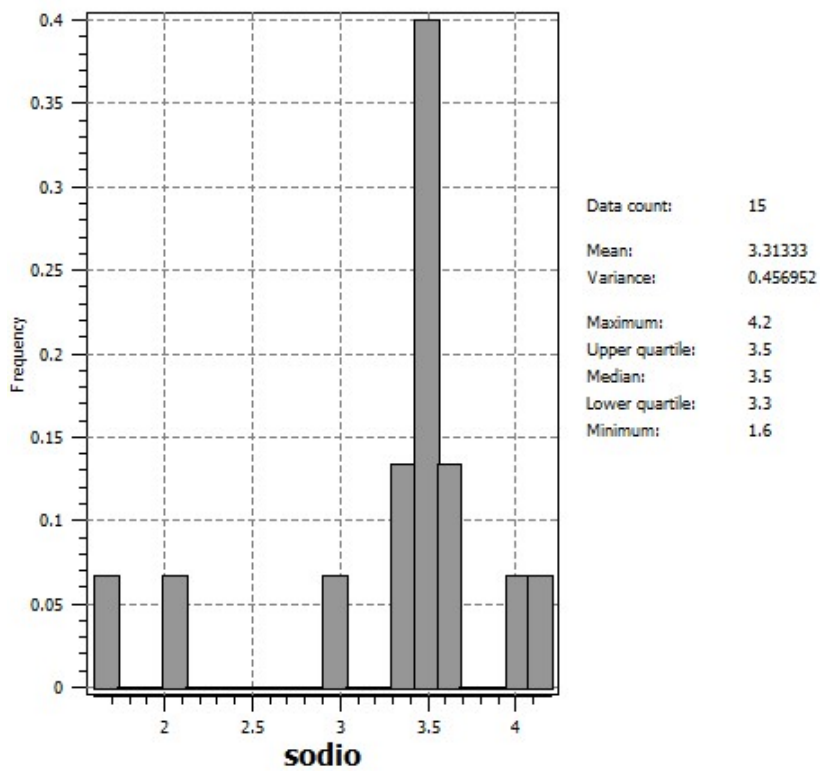


Figura B.4.8: Histograma do sódio da Fonte Primavera

B.5 Histogramas da Fonte Juliana

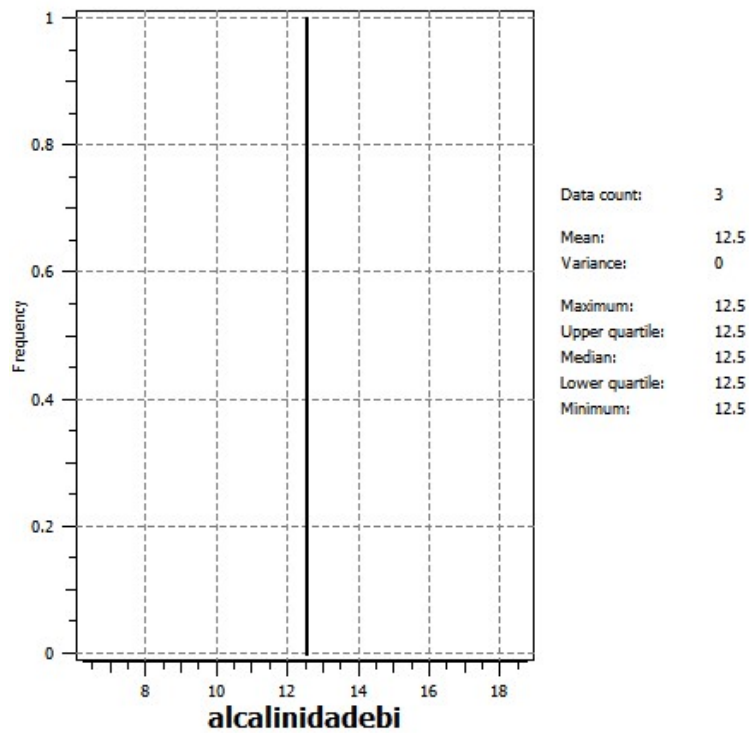


Figura B.5.1: Histograma da alcalinidade bicarbonato da Fonte Juliana

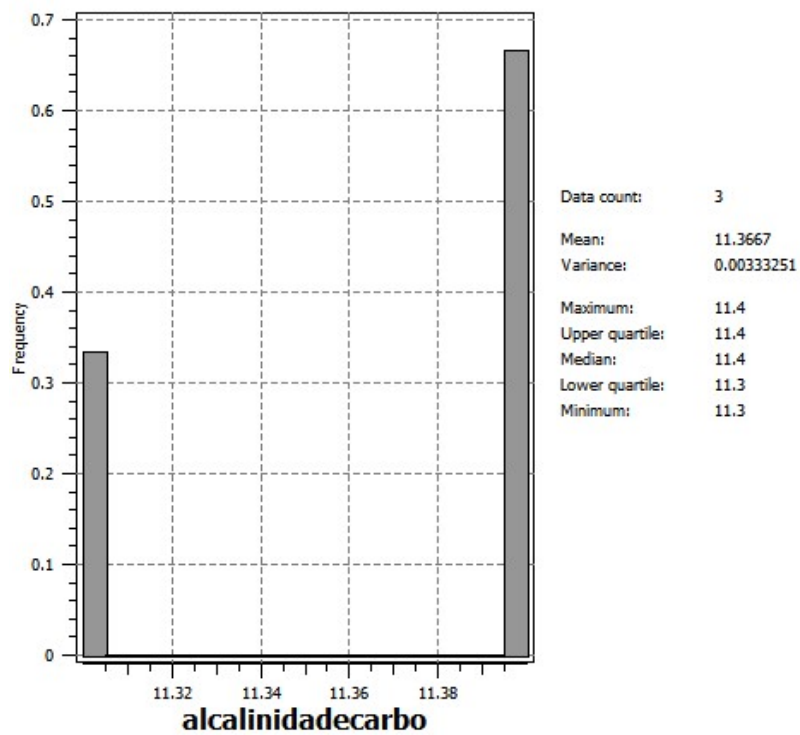


Figura B.5.2: Histograma da alcalinidade carbonato da Fonte Juliana

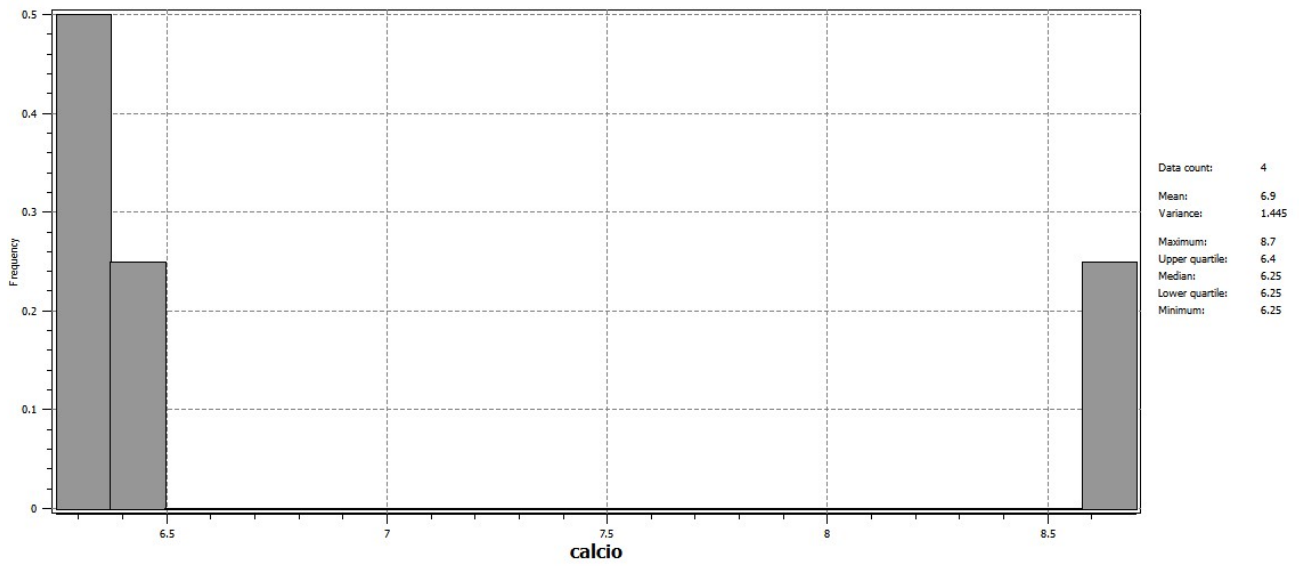


Figura B.5.3: Histograma do cálcio da Fonte Juliana

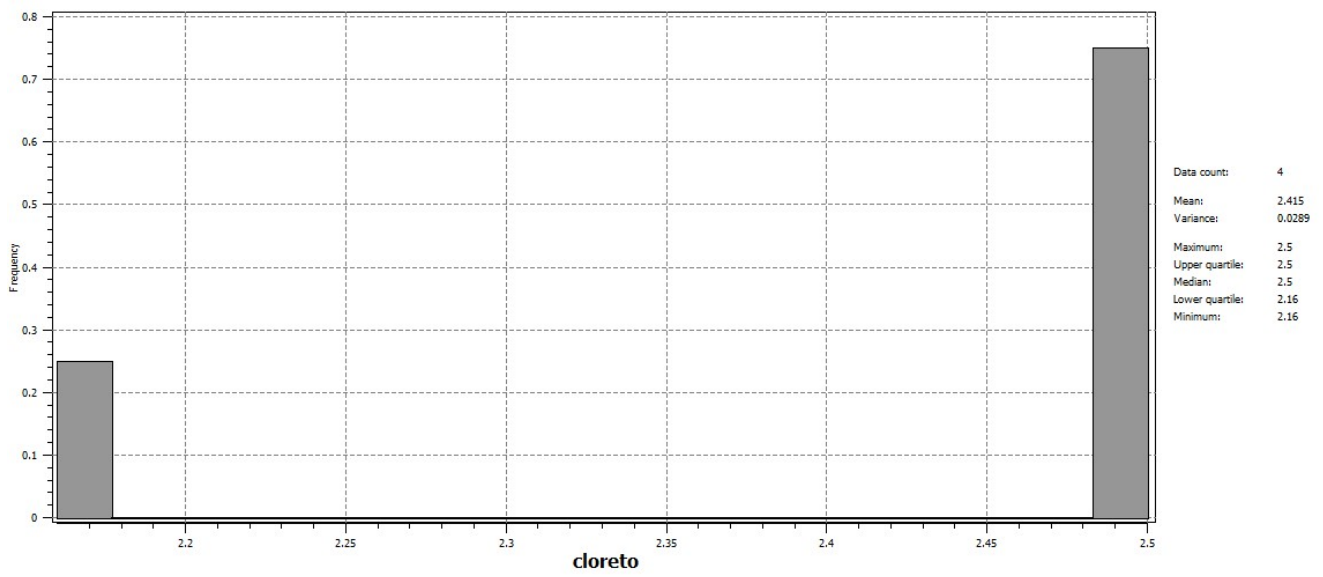


Figura B.5.4: Histograma do cloreto da Fonte Juliana

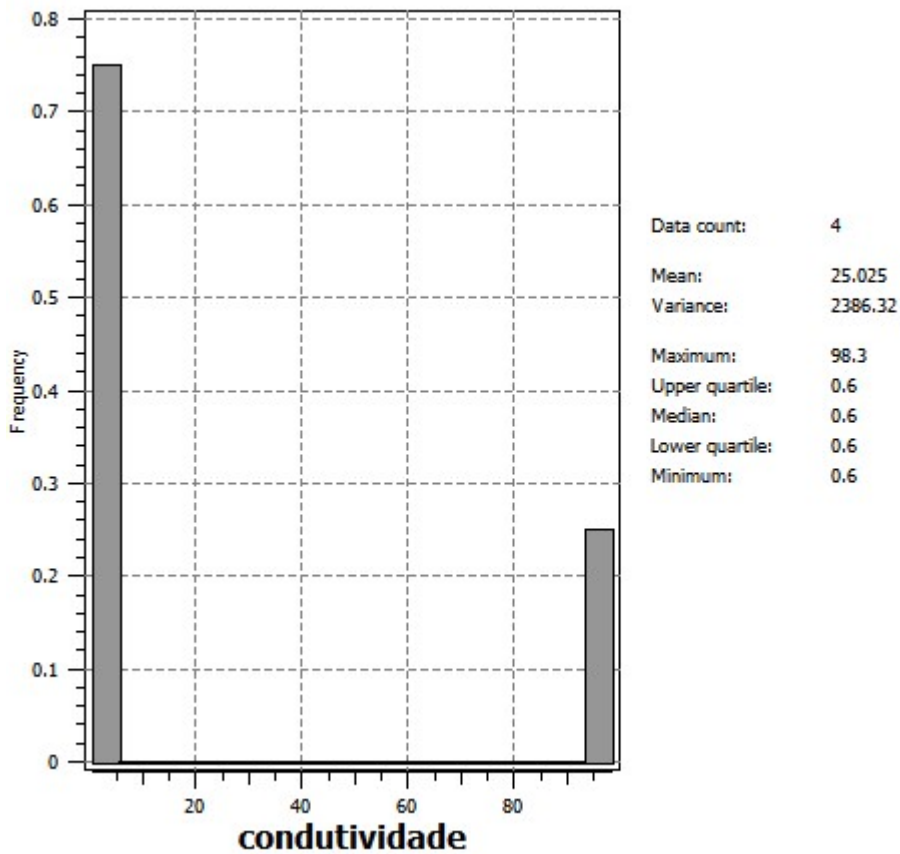


Figura B.5.5: Histograma da condutividade da Fonte Juliana

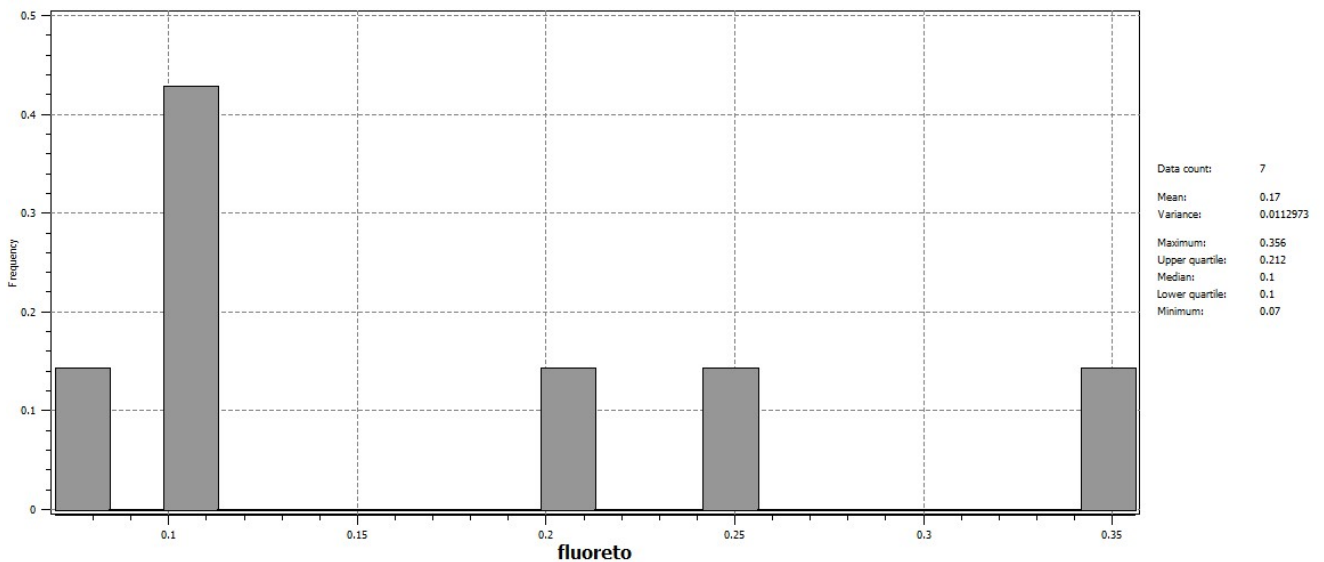


Figura B.5.6: Histograma do fluoreto da Fonte Juliana

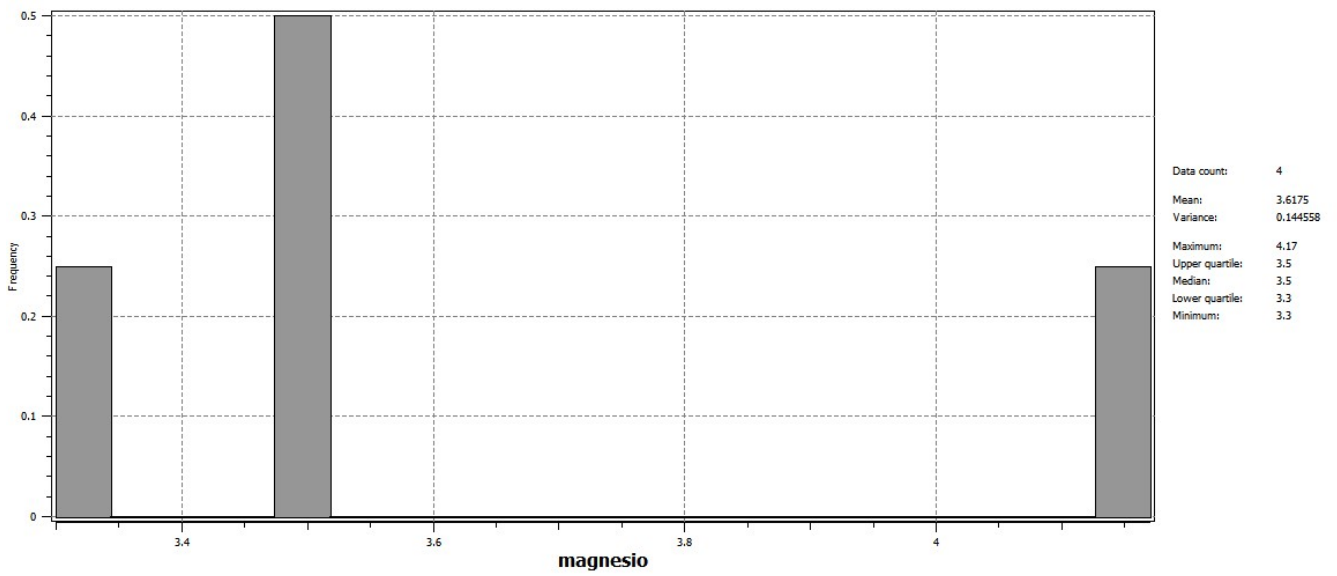


Figura B.5.7: Histograma do magnésio da Fonte Juliana

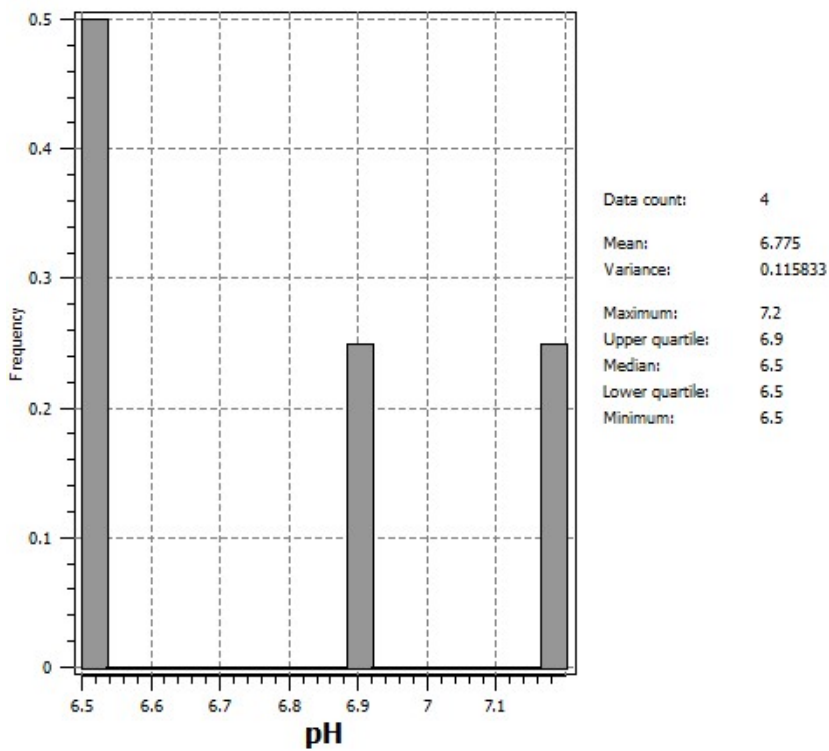


Figura B.5.8: Histograma do pH da Fonte Juliana

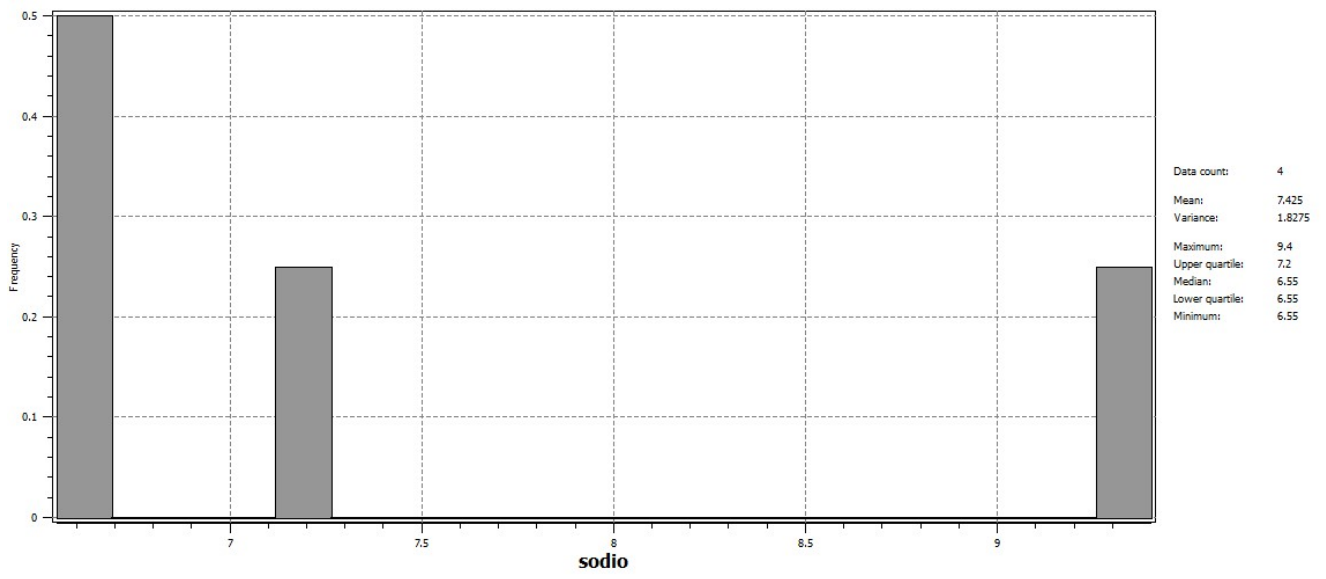


Figura B.5.9: Histograma do sódio da Fonte Juliana

A.6 Histogramas da Fonte Verônica

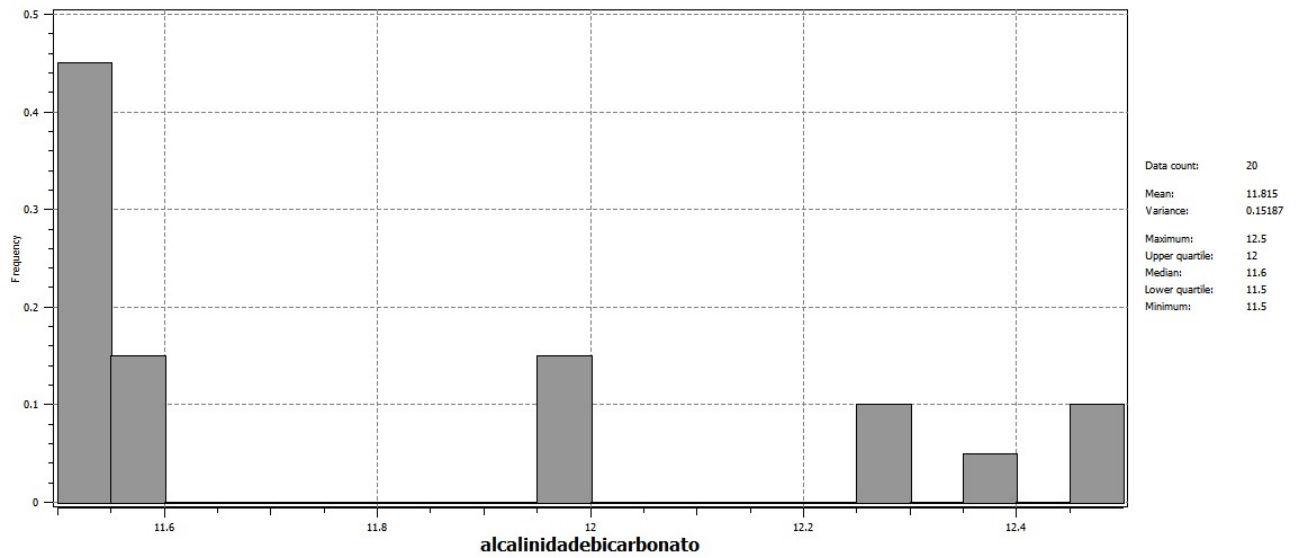


Figura B.6.1: Histograma da alcalinidade bicarbonato da Fonte Verônica

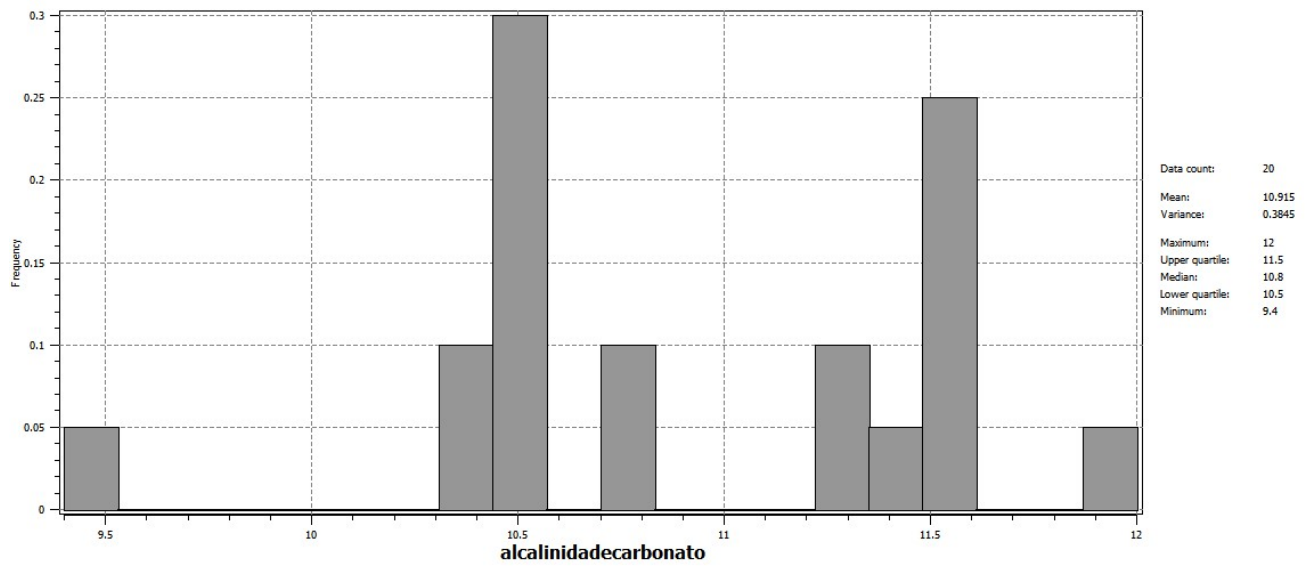


Figura B.6.2: Histograma da alcalinidade carbonato da Fonte Verônica

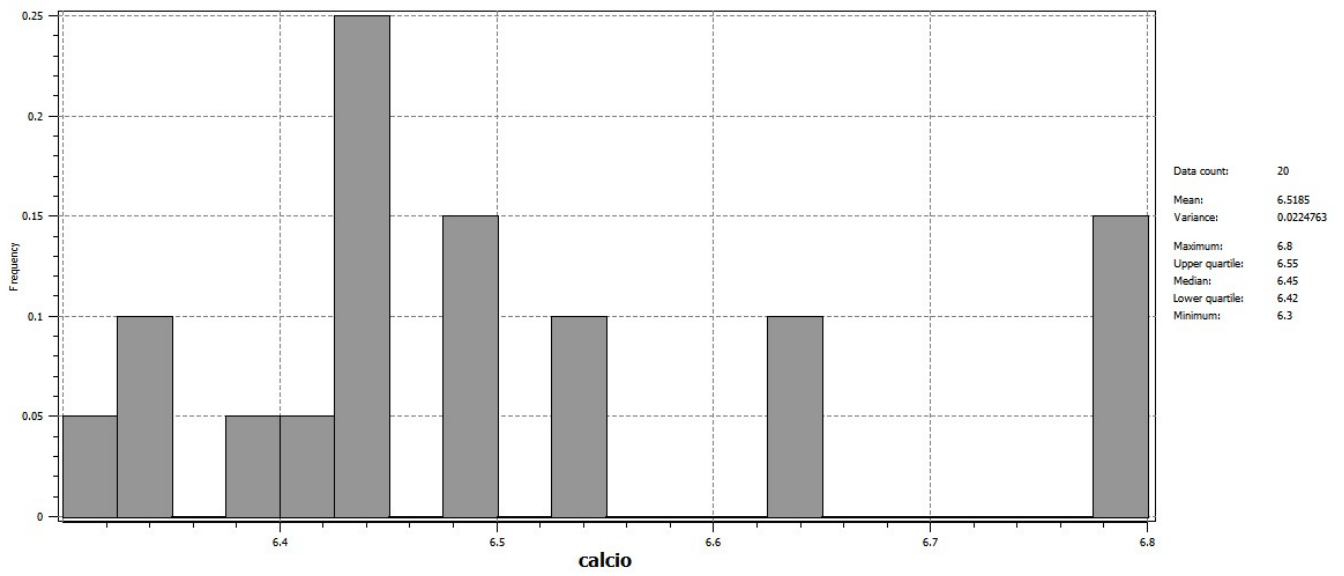


Figura B.6.3: Histograma do cálcio da Fonte Verônica

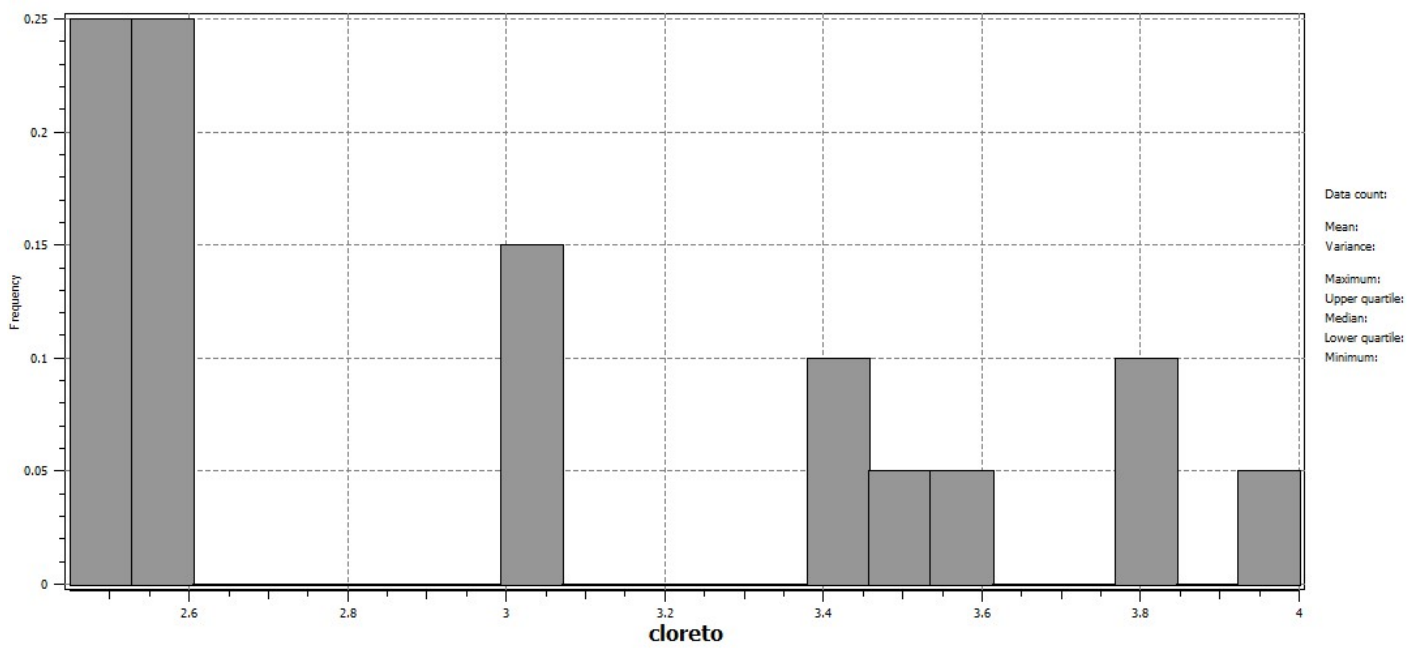


Figura B.6.4: Histograma do cloreto da Fonte Verônica

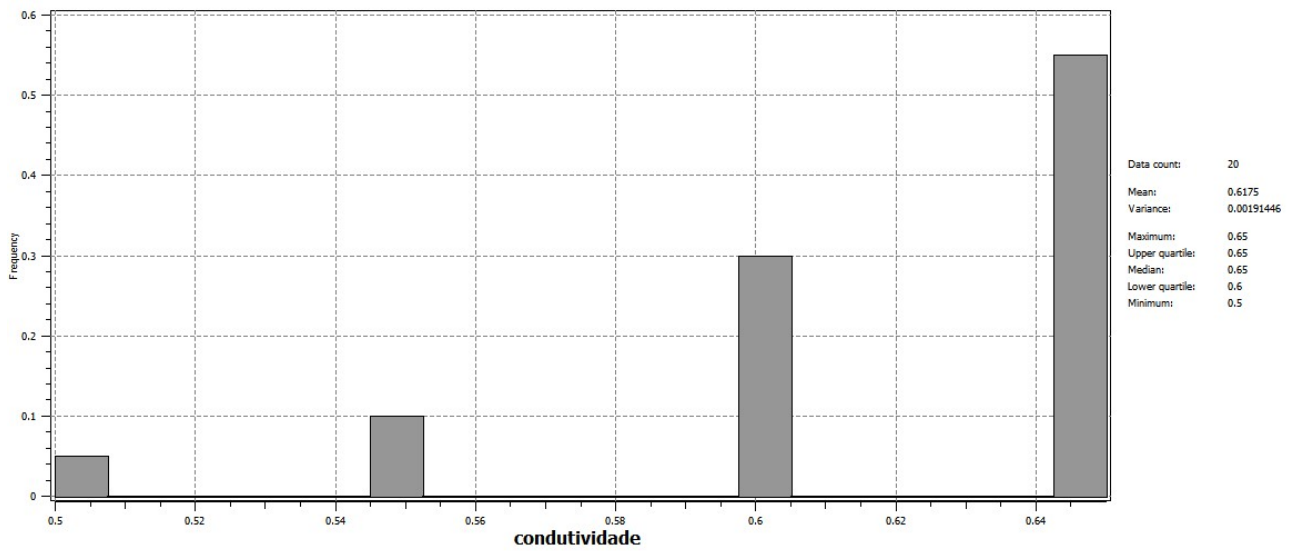


Figura B.6.5: Histograma da condutividade da Fonte Verônica

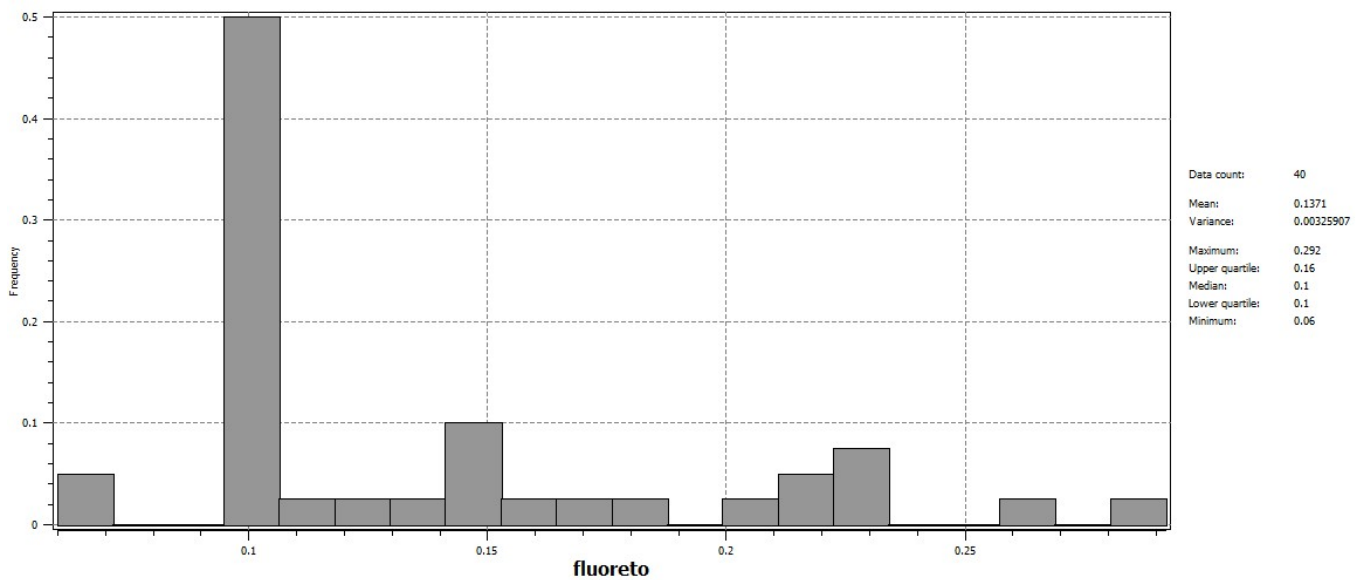


Figura B.6.6: Histograma do fluoreto da Fonte Verônica

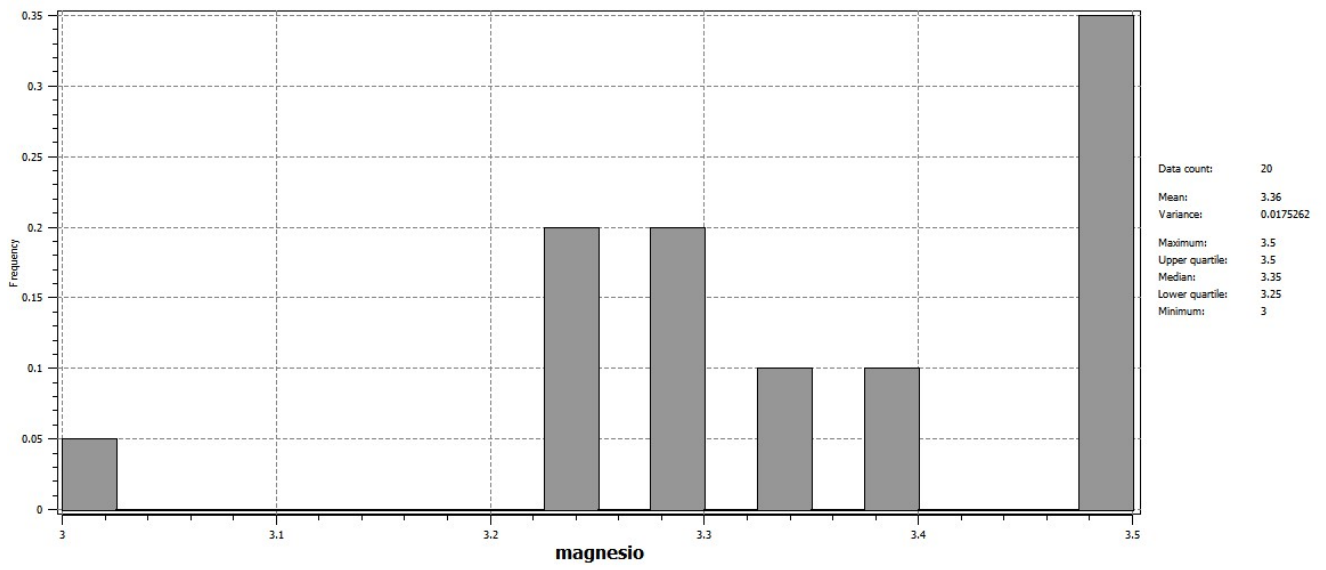


Figura B.6.7: Histograma do magnésio da Fonte Verônica

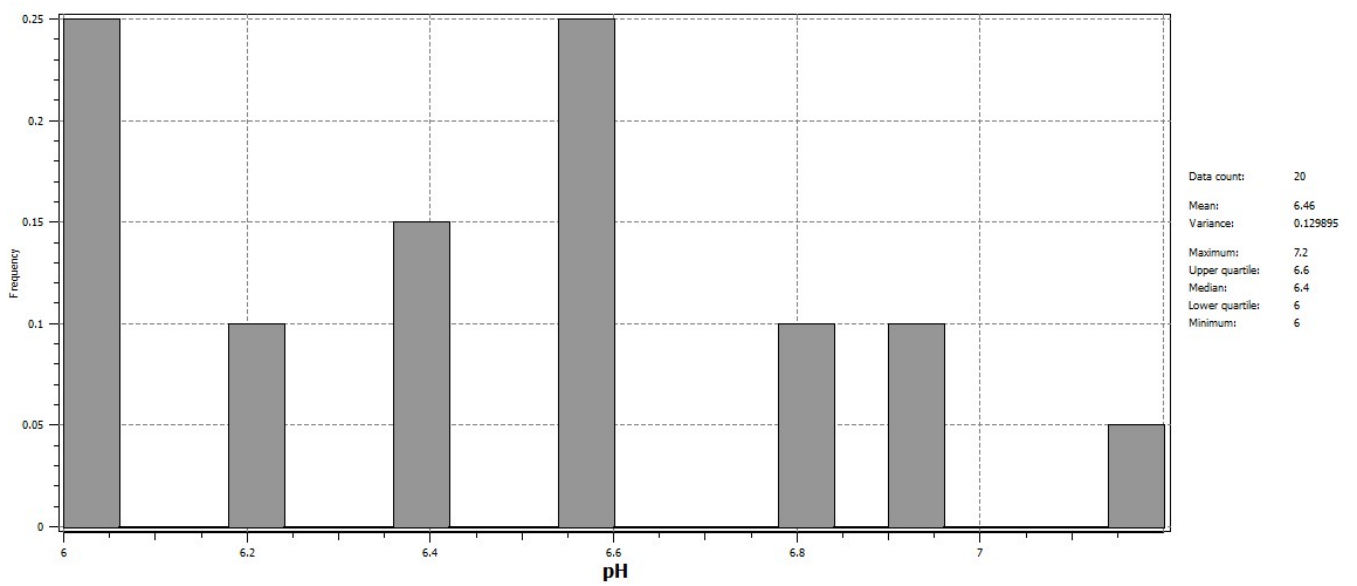


Figura B.6.8: Histograma do pH da Fonte Verônica

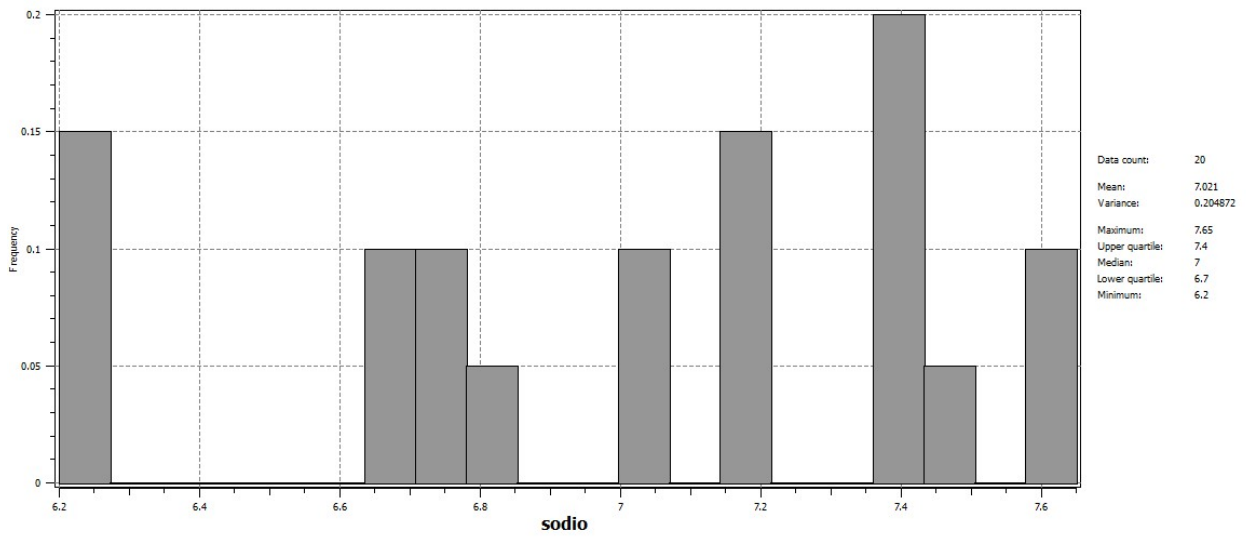


Figura B.6.9: Histograma do sódio da Fonte Verônica

B.7 Histogramas da Fonte Água Santa

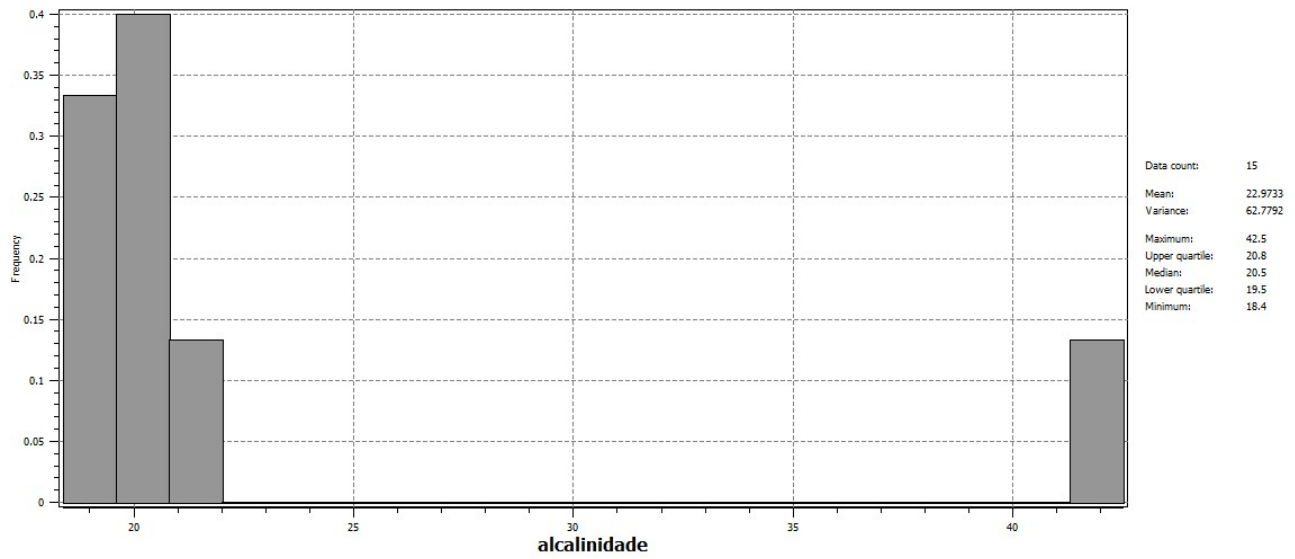


Figura B.7.1: Histograma da alcalinidade da Fonte Água Santa

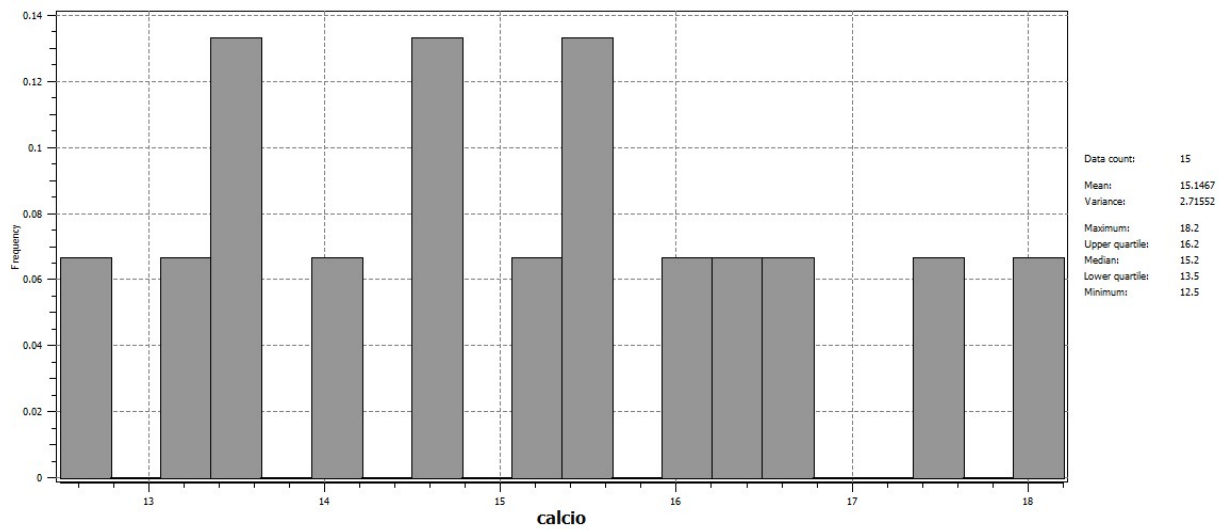


Figura B.7.2: Histograma do cálcio da Fonte Água Santa

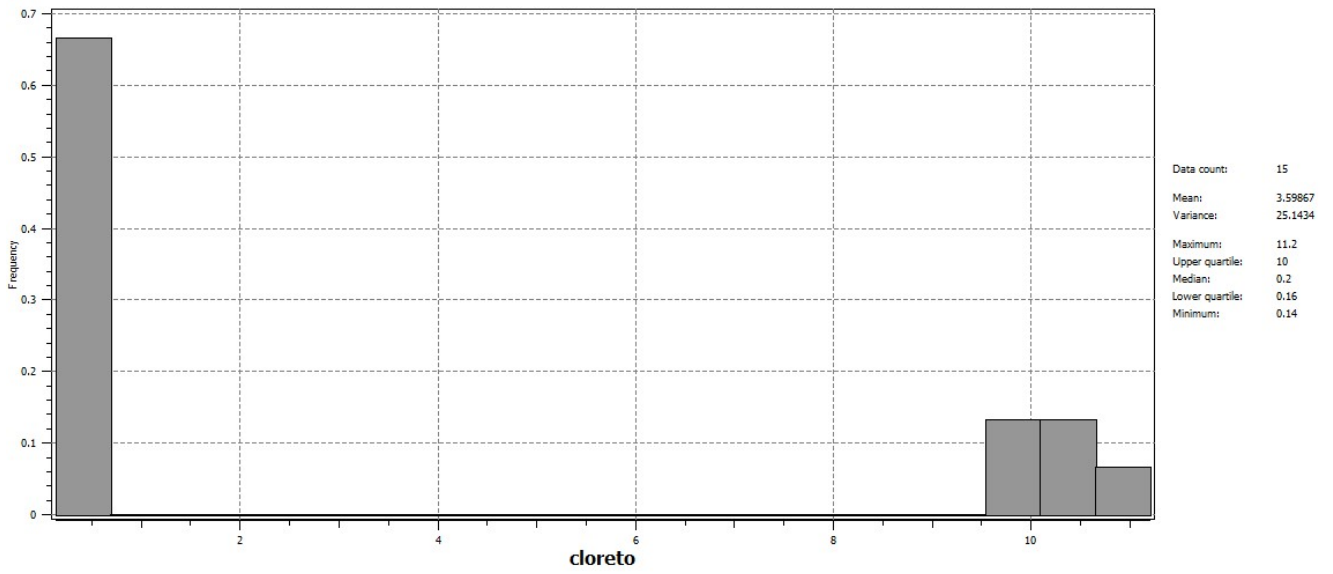


Figura B.7.3: Histograma do cloreto da Fonte Água Santa

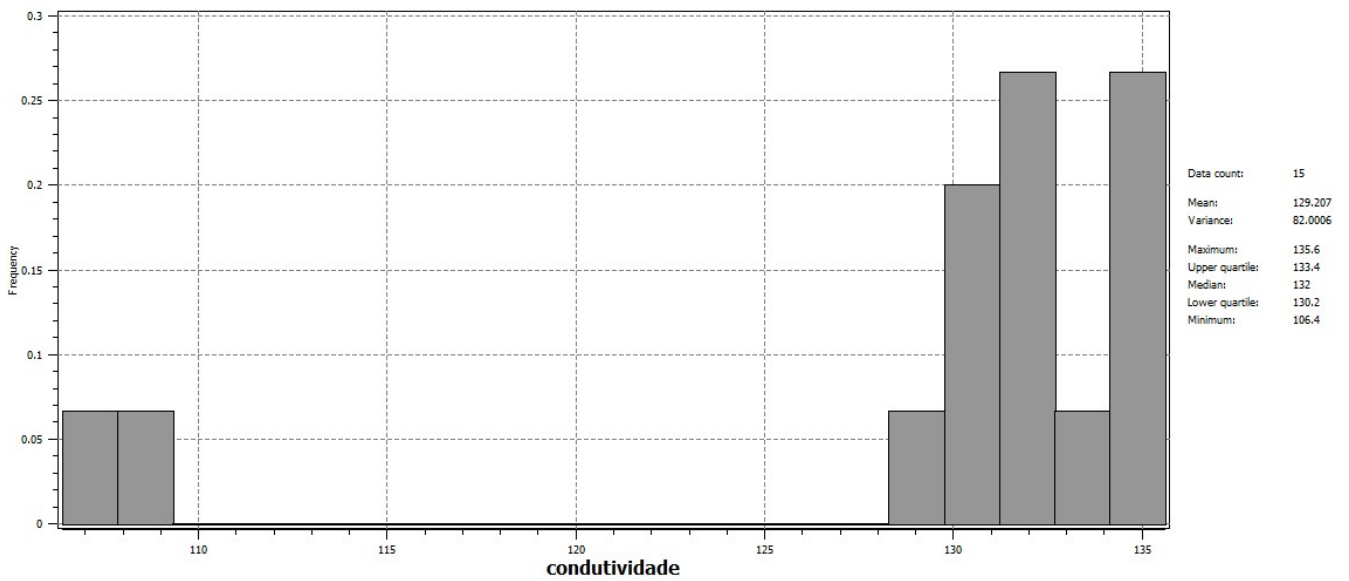


Figura B.7.4: Histograma da condutividade da Fonte Água Santa

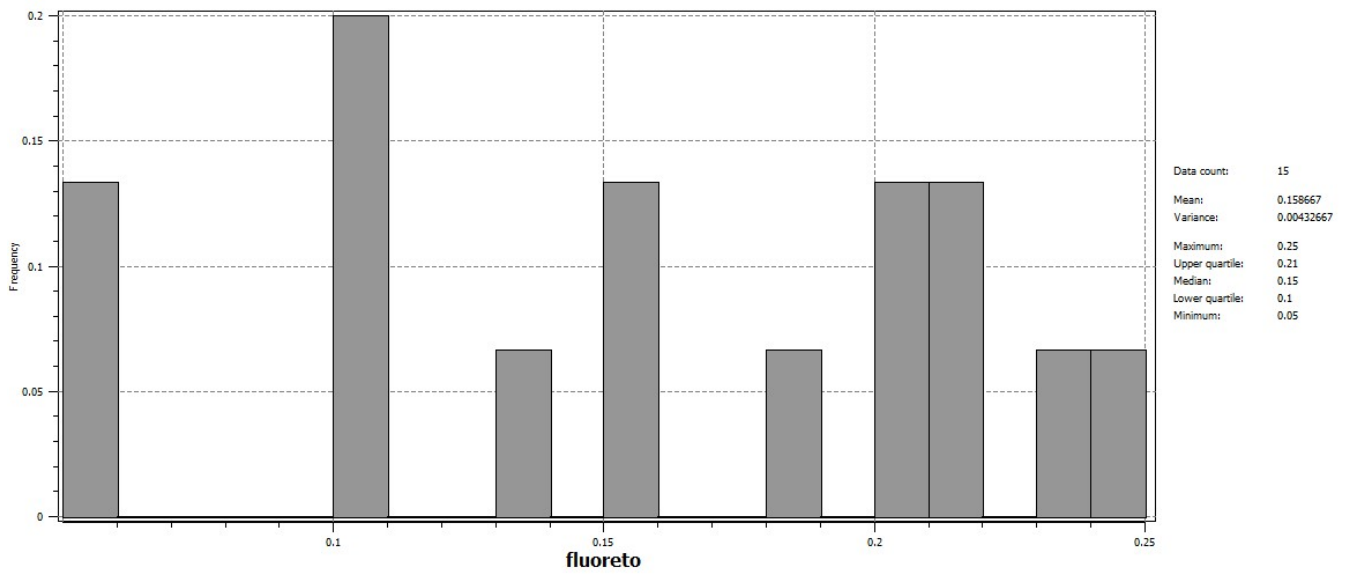


Figura B.7.5: Histograma do fluoreto da Fonte Água Santa

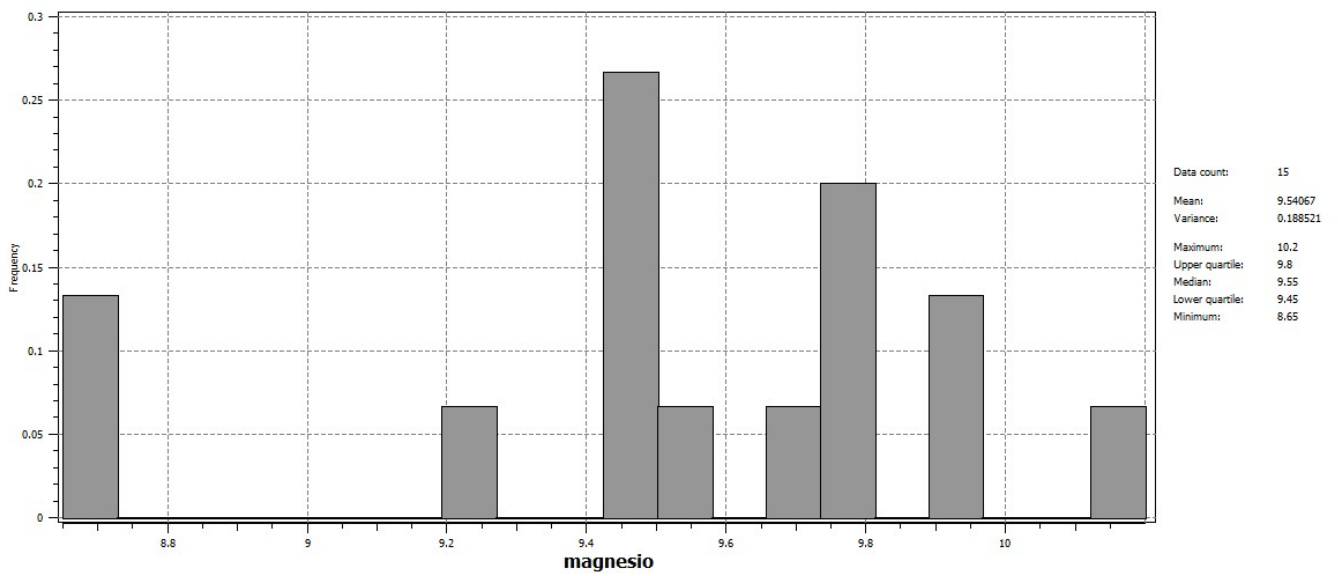


Figura B.7.6: Histograma do magnésio da Fonte Água Santa

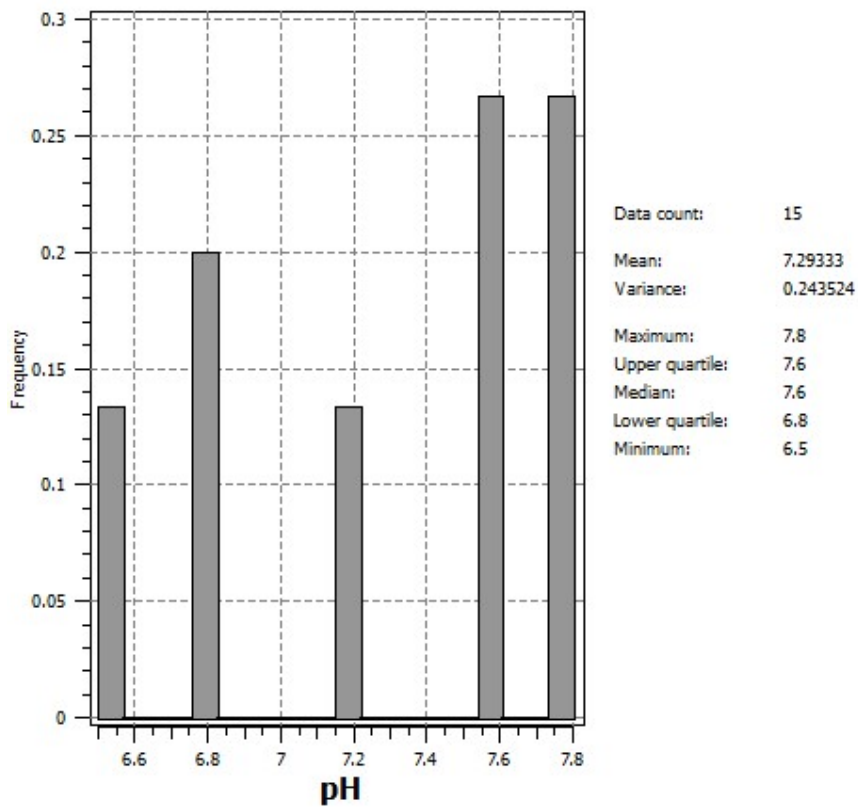


Figura B.7.7: Histograma do pH da Fonte Água Santa

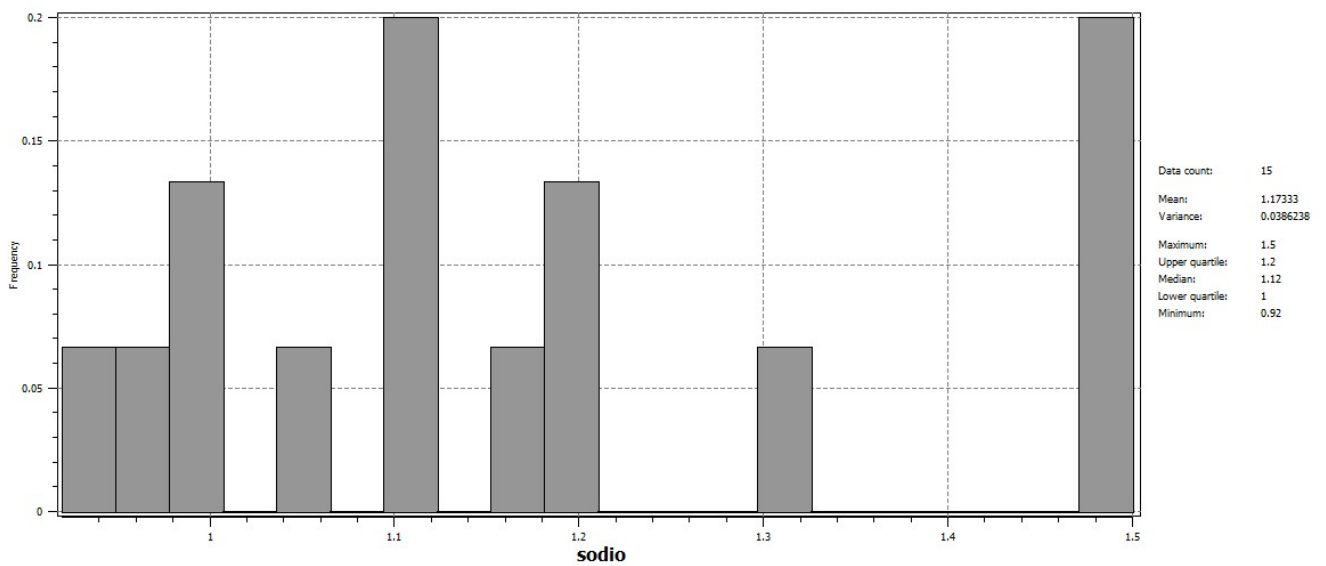


Figura B.7.8: Histograma do sódio da Fonte Água Santa

B.8 Histogramas da Fonte Ycuara

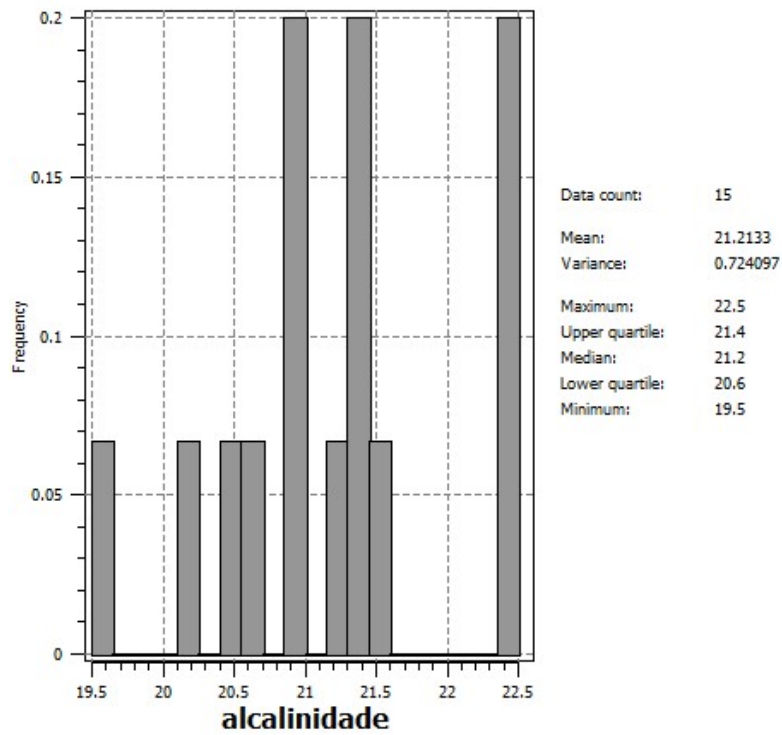


Figura B.8.1: Histograma da alcalinidade da Fonte Ycuara

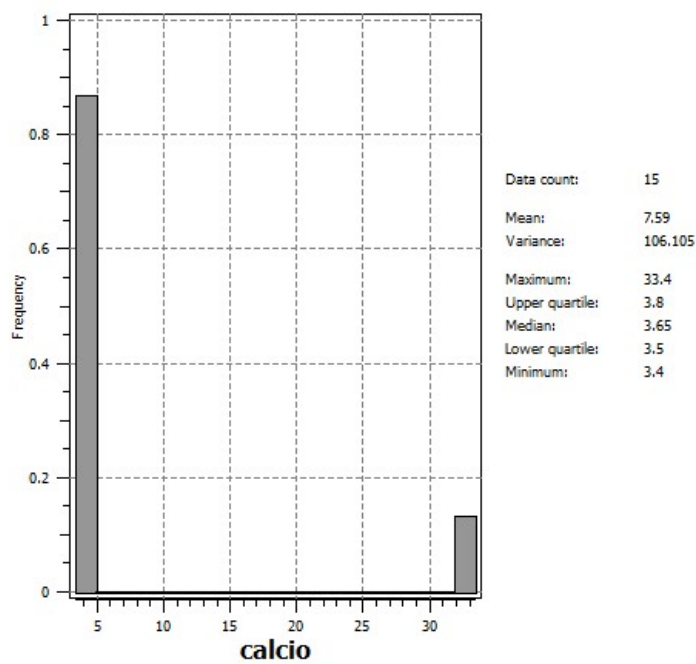


Figura B.8.2: Histograma do cálcio da Fonte Ycuara

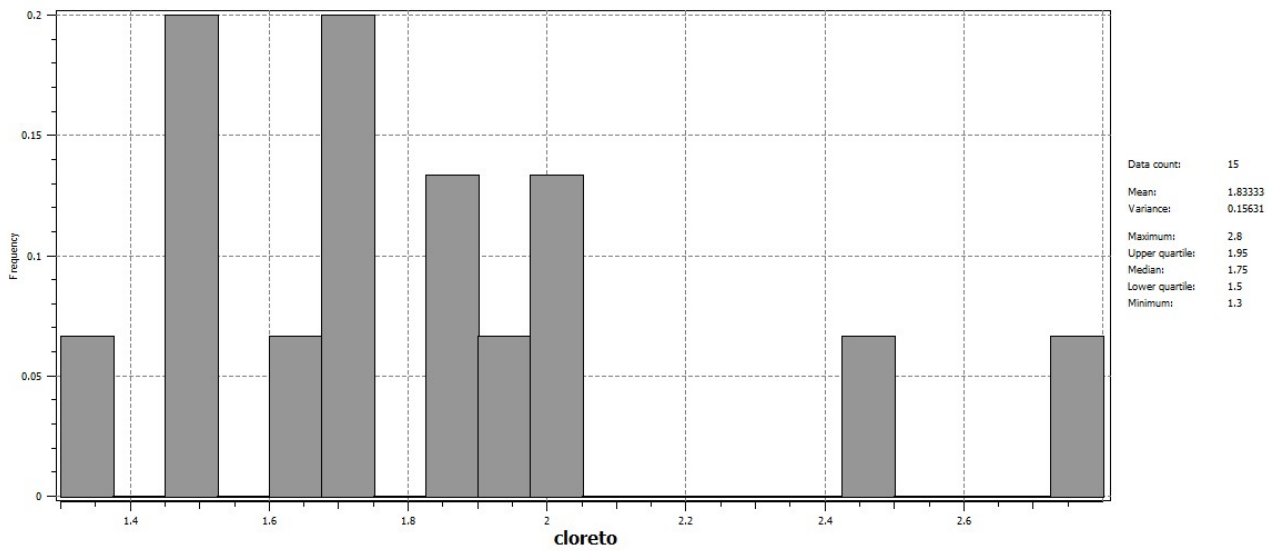


Figura B.8.3: Histograma do cloreto da Fonte Ycuara

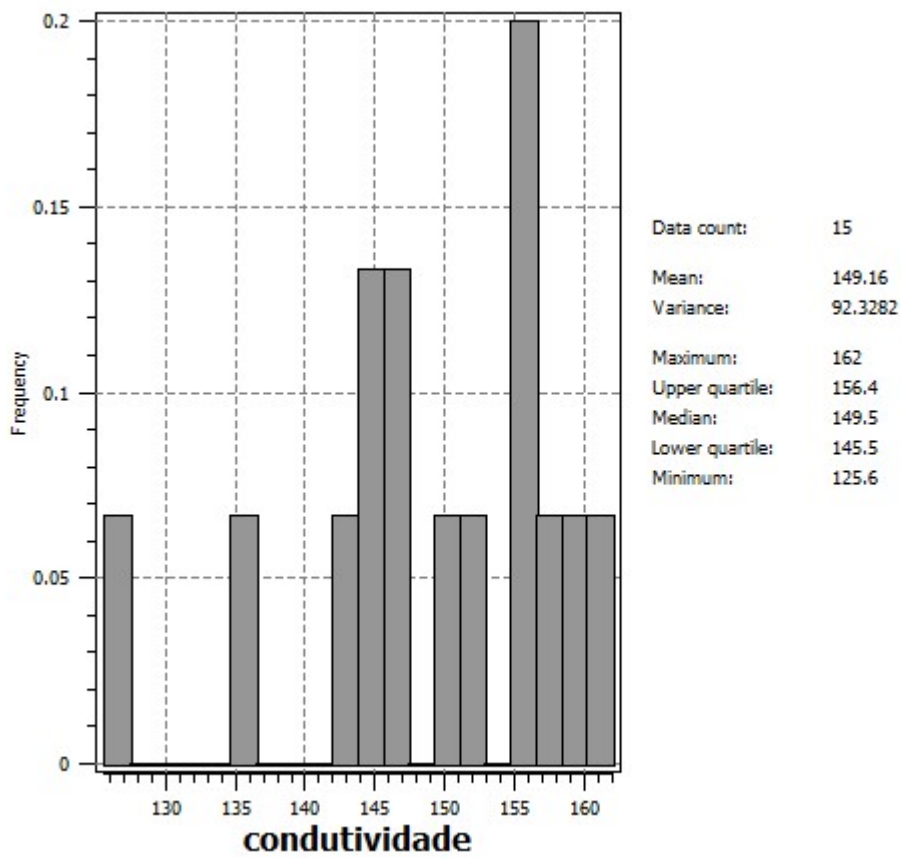


Figura B.8.4: Histograma da condutividade da Fonte Ycuara

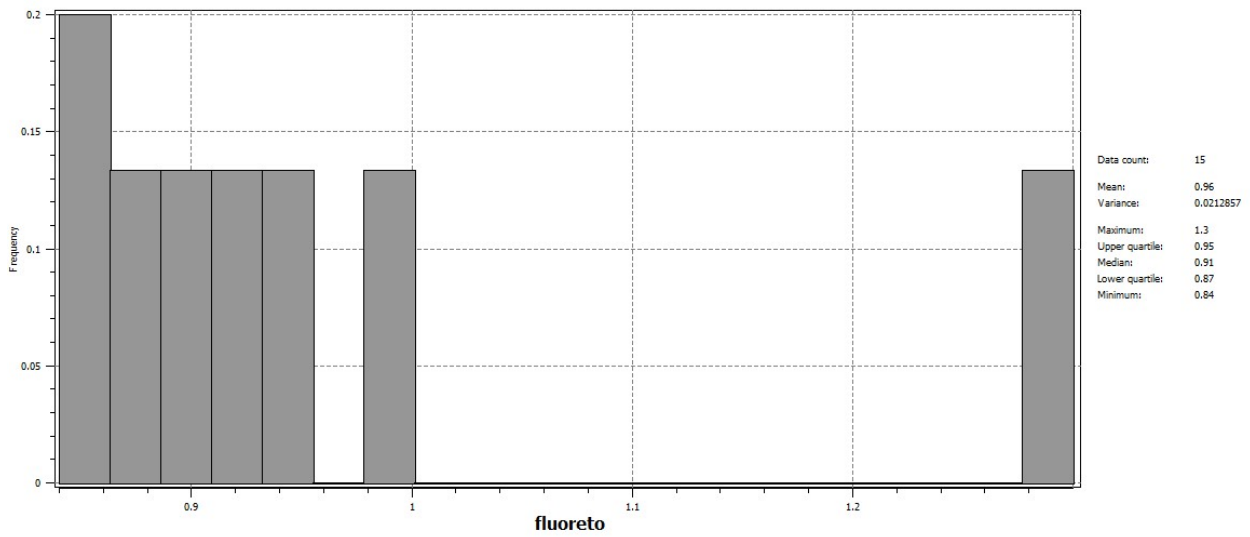


Figura B.8.5: Histograma do fluoreto da Fonte Ycuara

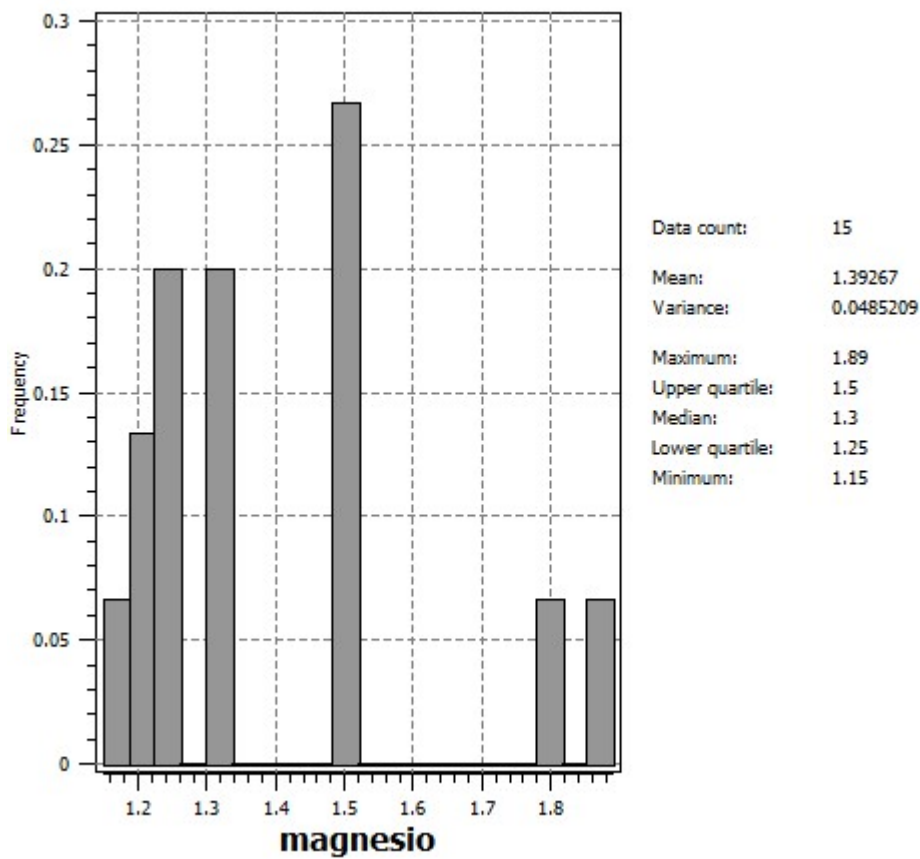


Figura B.8.6: Histograma do magnésio da Fonte Ycuara

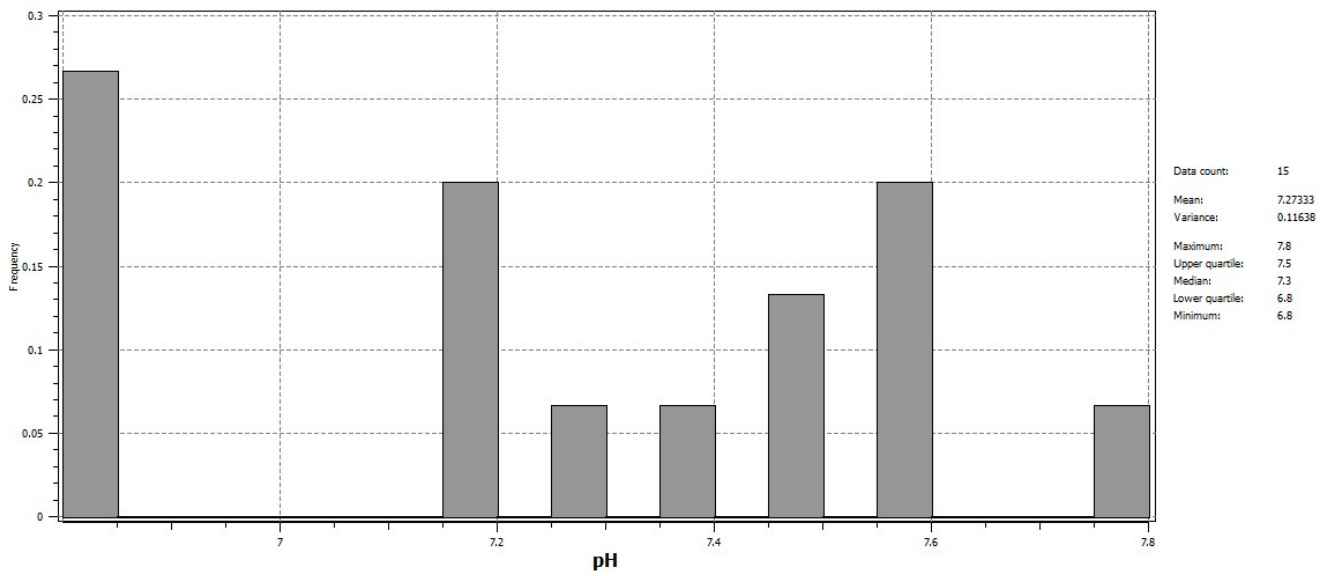


Figura B.8.7: Histograma do pH da Fonte Ycuara

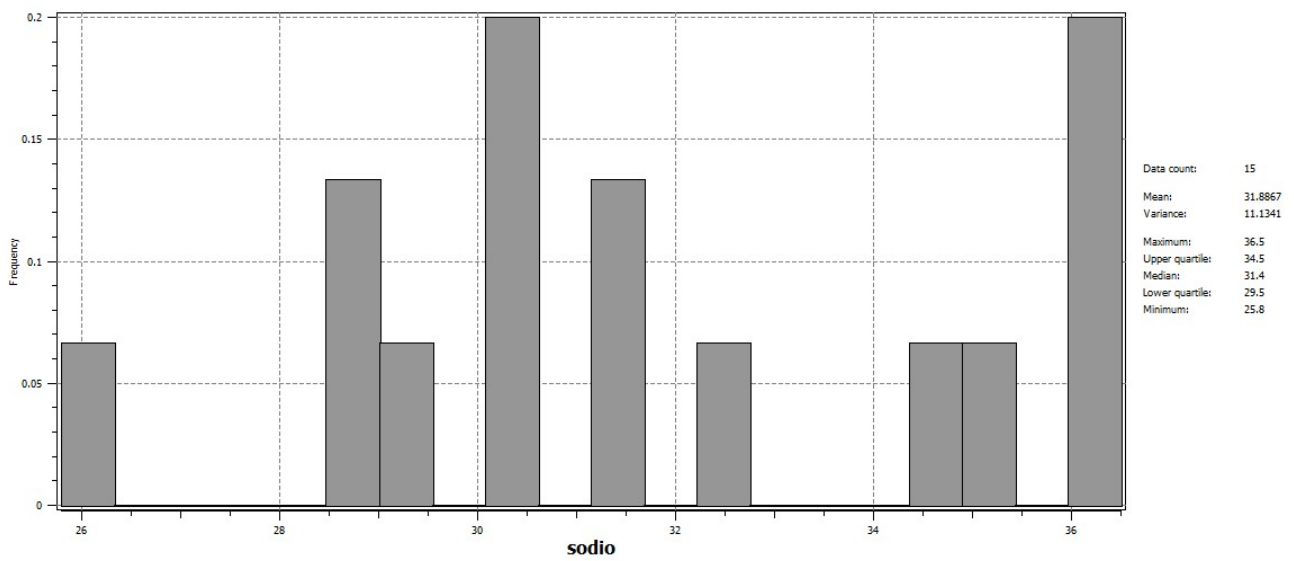


Figura B.8.8: Histograma do sódio da Fonte Ycuara

B.9 Histogramas da Fonte Maestro

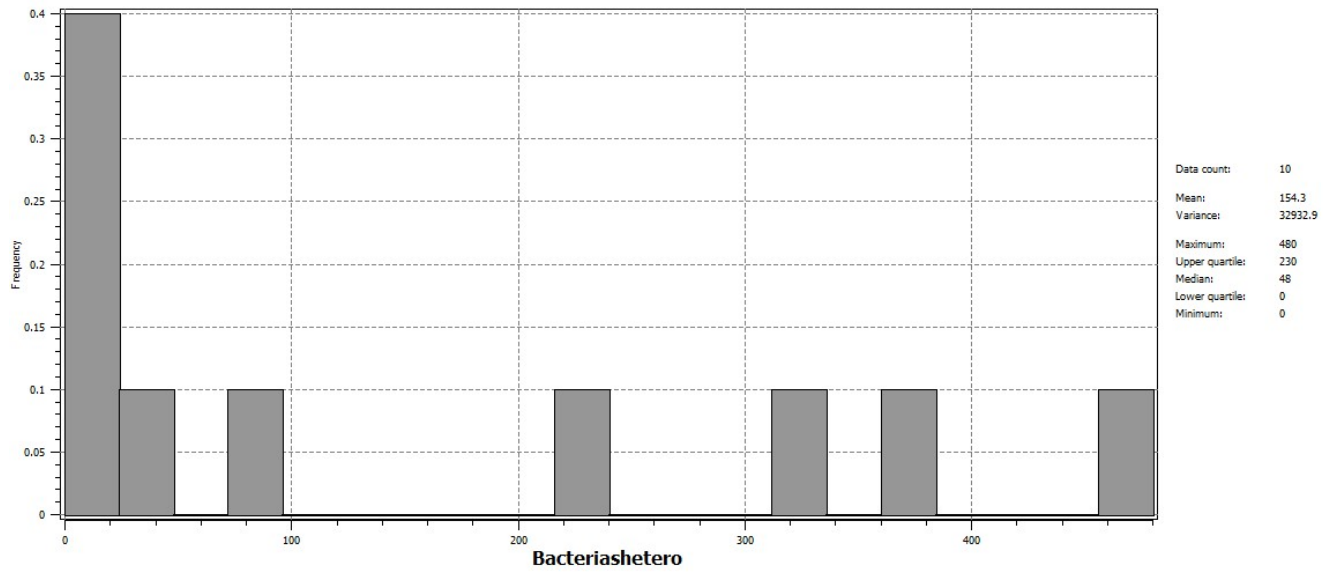


Figura B.9.1: Histograma das Bactérias Heterotróficas da Fonte Maestro

C – PARÂMETROS USADOS NA VARIOGRAFIA DAS FONTES

C.1 - PARAMETROS PARA TODAS AS FONTES

Tabela C.1.1 - Parâmetros para a variografia da Fonte Sonja

Sonja									
Parâmetros	Média	Variância Total	Número de Lags	Distância Entre Lags	C0	C1	Ranges		
							Min	Med	Max
alcalinidade	49,15	70,86	20	18,3	7,087	63,783	40,26	43,92	43,92
cálcio	16,39	17,35	20	18,3	1,735	15,615	172,02	179,34	179,34
cloreto	4,378	0,286	20	18,3	0,0286	0,2574	25,62	29,28	29,28
condutividade	144,31	501,92	20	18,3	50,192	451,728	98,82	120,78	120,78
fluoreto	0,125	0,006	28	20	0,0006	0,0054	95,2	106,4	106,4
lítio	0,02785	0,000023	20	18,3	0,0000023	0,0000207	109,8	131,76	131,76
magnésio	1,951	0,038	20	18,3	0,0038	0,0342	65,88	73,2	73,2
pH	7,434	0,0185	20	18,3	0,00185	0,01665	95,16	98,82	98,82
sódio	12,8	2,55	20	18,3	0,255	2,295	47,58	51,24	51,24

Tabela C.1.2 - Parâmetros para a variografia da Fonte Santo Antonio

Santo Antonio									
Parâmetros	Média	Variância Total	Número de Lags	Distância Entre Lags	C0	C1	Ranges		
							Min	Med	Max
alcalinidade	49,1	99,46	20	23	9,946	89,514	87,4	92,0	92,0
cálcio	8,2755	2,59	20	23	0,259	2,331	73,2	78,2	78,2
cloreto	18,27	9,79	20	23	0,98	8,81	228	232,56	232,56
condutividade	179,575	105,72	20	23	10,572	95,148	82,8	96,6	96,6

fluoreto	0,104	0,000368	28	21,32	0,00037	0,00333	11,93	11,93	11,93
magnésio	3,944	0,505	20	23	0,0505	0,4545	59,8	64,4	64,4
pH	6,70	0,27	20	23	0,03	0,24	141,36	150,48	150,48
sódio	19,83	18,85	20	23	1,85	17,0	132,24	228	228

Tabela C.1.3 - Parâmetros para a variografia da Fonte Santa Lúcia

Santa Lúcia									
Parâmetros	Média	Variância Total	Número de Lags	Distância Entre Lags	C0	C1	Ranges		
							Min	Med	Max
alcalinidade	21,06	0,198	5	21,4	0,0198	0,1782	21,2	23,32	23,32
cálcio	9,8	0,185	5	21,4	0,0185	0,1665	42,4	44,52	44,52
cloreto	0,152	0,00107	5	21,4	0,00007	0,001	21,40	25,68	25,68
condutividade	121,58	29,15	5	21,4	2,915	26,235	38,16	40,28	40,28
fluoreto	0,122	0,00052	5	21,4	0,00005	0,00047	29,96	35,31	35,31
magnésio	9,552	0,0063	5	21,4	0,00063	0,00567	60,42	63,6	63,6
pH	6,36	0,123	5	21,4	0,013	0,11	10,7	23,54	23,54
sódio	0,952	0,00272	5	21,4	0,00027	0,00245	28,89	31,03	31,03

Tabela C.1.4 - Parâmetros para a variografia da Fonte Primavera

Primavera									
Parâmetros	Média	Variância Total	Número de Lags	Distância Entre Lags	C0	C1	Ranges		
							Min	Med	Max
alcalinidade	20,92	0,775	15	15,6	0,0775	0,6975	11,7	28,08	28,08
cálcio	25,08	45,11	15	15,6	4,511	40,599	23,4	30,42	30,42
cloreto	11,56	1,48	15	15,6	0,15	1,33	37,44	42,12	42,12

condutividade	204,32	6134,77	15	15,6	613,477	5221,293	77,22	95,94	95,94
fluoreto	0,116	0,0012	15	15,6	0,0001	0,0011	65,52	93,62	93,62
magnésio	12,94	3,82	15	15,6	0,382	3,438	28,08	30,42	30,42
pH	7,426	0,092	15	15,6	0,01	0,082	39,78	44,46	44,46
sódio	3,31	0,45	15	15,6	0,04	0,41	180,18	191,88	191,88

Tabela C.1.5 - Parâmetros para a variografia da Fonte Verônica

Verônica									
Parâmetros	Média	Variância Total	Número de Lags	Distância Entre Lags	C0	C1	Ranges		
							Min	Med	Max
alcalinidade bicarbonato	11,815	0,152	20	3,55	0,0152	0,1368	5,68	6,39	6,39
alcalinidade carbonato	10,915	0,384	20	3,55	0,0384	0,3456	7,81	10,65	10,65
cálcio	6,5185	0,0225	20	3,55	0,00225	0,02025	10,65	11,36	11,36
cloreto	2,9	0,29	20	3,55	0,03	0,26	15,62	17,04	17,04
condutividade	0,6175	0,0019	20	3,55	0,00019	0,00171	20,59	22,72	22,72
fluoreto	0,1371	0,00326	40	1,775	0,0003	0,00296	11,36	13,49	13,49
magnésio	3,36	0,0175	20	3,55	0,00175	0,01575	8,52	9,23	9,23
pH	6,4	0,13	20	3,55	0,01	0,12	3,55	4,26	4,26
sódio	7,02	0,205	20	3,55	0,02	0,185	29,82	29,82	29,82

Tabela C.1.6 - Parâmetros para a variografia da Fonte Juliana

Juliana							
Parâmetros	Média	Variância	Número	Distância	C0	C1	Ranges

		Total	de	Entre			Min	Med	Max
			Lags	Lags					
alcalinidade bicarbonato	12,5	0	-	-	-	-	-	-	-
alcalinidade carbonato	11,37	0,0033	3	120,7	0,00033	0,00297	47,07	72,42	72,42
cálcio	6,9	1,445	4	90,5	0,1445	1,3005	43,44	54,3	54,3
cloreto	2,145	0,0289	4	90,5	0,00289	0,02601	39,8	57,92	57,92
condutividade	25,025	2386,32	4	90,5	238,632	2147,688	43,44	50,68	50,68
fluoreto	0,17	0,0113	7	51,72	0,00113	0,01017	50,68	97,75	97,75
magnésio	3,6175	0,144	4	90,5	0,0144	0,1296	50,68	68,78	68,78
pH	6,775	0,116	4	90,5	0,011	0,105	61,52	76,02	76,02
sódio	7,425	1,83	4	90,5	0,183	1,647	72,4	86,44	86,44

Tabela C.1.7 - Parâmetros para a variografia da Fonte Água Santa

Água Santa									
Parâmetros	Média	Variância Total	Número de Lags	Distância Entre Lags	C0	C1	Ranges		
							Min	Med	Max
alcalinidade	22,97	62,78	15	18	6,278	56,502	18,9	27	27
cálcio	15,14	2,71	15	18	0,271	2,439	126,9	137,7	137,7
cloreto	3,59	25,14	15	18	2,14	23	29,7	40,5	40,5
condutividade	129,20	82	15	18	8,2	73,8	86,4	94,5	94,5
fluoreto	0,1586	0,0043	15	18	0,0003	0,004	70,2	81	81
magnésio	9,54	0,188	15	18	0,0188	0,1692	40,5	43,2	43,2
pH	7,29	0,24	15	18	0,04	0,20	24,3	43,2	43,2
sódio	1,17	0,038	15	18	0,004	0,034	183,6	213,3	213,3

Tabela C.1.8 - Parâmetros para a variografia da Fonte Ycuara

Ycuara									
Parâmetros	Média	Variância Total	Número de Lags	Distância Entre Lags	C0	C1	Ranges		
							Min	Med	Max
alcalinidade	21,21	0,724	15	15	0,0724	0,6516	24,75	27	27
cálcio	7,59	106,1	15	15	10,61	95,49	45	49,5	49,5
cloreto	1,83	0,156	15	15	0,016	0,140	110,25	137,25	137,25
condutividade	149,16	92,33	15	15	9,233	83,097	51,75	60,75	60,75
fluoreto	0,96	0,021	15	15	0,002	0,019	27	63	63
magnésio	1,39	0,048	15	15	0,0048	0,0432	45	47,25	47,25
pH	7,27	0,116	15	15	0,012	0,104	33,75	40,5	40,5
sódio	31,88	11,13	15	15	1,13	10	54	108	108

Tabela C.1.9 - Parâmetros para a variografia da Fonte Maestro

Maestro									
Parâmetros	Média	Variância Total	Número de Lags	Distância Entre Lags	C0	C1	Ranges		
							Min	Med	Max
Bactérias Heterotróficas	154,3	32.932,9	10	6,1	2.932,9	30.000,0	4,27	6,1	6,1

C.2 - PARAMETROS PARA COMPARAR AS FONTES COM E SEM DUPLICATAS

Tabela C.2.1 - Parâmetros para a variografia da Fonte Sonja com as duplicatas

Sonja									
Parâmetros	Média	Variância Total	Número de Lags	Distância Entre Lags	C0	C1	Ranges		
							Min	Med	Max
alcalinidade	49,15	70,86	20	18,3	7,087	63,783	40,26	43,92	43,92
cálcio	16,39	17,35	20	18,3	1,735	15,615	172,02	179,34	179,34
cloreto	4,378	0,286	20	18,3	0,0286	0,2574	25,62	29,28	29,28
condutividade	144,31	501,92	20	18,3	50,192	451,728	98,82	120,78	120,78
fluoreto	0,125	0,006	28	20	0,0006	0,0054	95,2	106,4	106,4
lítio	0,02785	0,000023	20	18,3	0,0000023	0,0000207	109,8	131,76	131,76
magnésio	1,951	0,038	20	18,3	0,0038	0,0342	65,88	73,2	73,2
pH	7,434	0,0185	20	18,3	0,00185	0,01665	95,16	98,82	98,82
sódio	12,8	2,55	20	18,3	0,255	2,295	47,58	51,24	51,24

Tabela C.2.2 - Parâmetros para a variografia da Fonte Sonja sem as duplicatas

Sonja									
Parâmetros	Média	Variância Total	Número de Lags	Distância Entre Lags	C0	C1	Ranges		
							Min	Med	Max
alcalinidade	48,5	74,65	17	21,6	7,465	67,185	51,40	51,40	51,40
cálcio	16,1	17,47	17	21,6	1,747	15,723	132,19	135,86	135,86
cloreto	4,3	0,324	17	21,6	0,0324	0,2916	22,03	22,03	22,03
condutividade	145,1	547,56	17	21,6	54,756	492,804	36,72	47,74	47,74
fluoreto	0,12	0,0064	22	25,4	0,00064	0,00576	89,40	89,40	89,40
lítio	0,027	0,000025	17	21,6	0,0000025	0,0000225	55,08	58,75	58,75

magnésio	1,9	0,04	17	21,6	0,004	0,036	58,75	58,75	58,75
pH	7,4	0,0121	17	21,6	0,00121	0,01089	40,39	44,06	44,06
sódio	12,6	2,04	17	21,6	0,204	1,836	44,06	44,06	44,06

Tabela C.2.3 - Parâmetros para a variografia da Fonte Santo Antonio com as duplicatas

Santo Antonio									
Parâmetros	Média	Variância Total	Número de Lags	Distância Entre Lags	C0	C1	Ranges		
							Min	Med	Max
alcalinidade	49,1	99,46	20	23	9,946	89,514	87,4	92,0	92,0
cálcio	8,27	2,59	20	23	0,259	2,331	73,2	78,2	78,2
cloreto	18,27	9,79	20	23	0,98	8,81	228	232,56	232,56
condutividade	179,57	105,72	20	23	10,572	95,148	82,8	96,6	96,6
fluoreto	0,104	0,00368	28	21,32	0,00037	0,00333	11,93	11,93	11,93
magnésio	3,944	0,505	20	23	0,0505	0,4545	59,8	64,4	64,4
pH	6,70	0,27	20	23	0,03	0,24	141,36	150,48	150,48
sódio	19,83	18,85	20	23	1,85	17,0	132,24	228	228

Tabela C.2.4 - Parâmetros para a variografia da Fonte Santo Antonio sem as duplicatas

Santo Antonio									
Parâmetros	Média	Variância Total	Número de Lags	Distância Entre Lags	C0	C1	Ranges		
							Min	Med	Max
alcalinidade	50,1	99,8	18	24,8	9,98	89,82	75,88	75,88	75,88
cálcio	8,3	2,72	18	24,8	0,272	2,448	58,03	66,96	66,96
cloreto	18,6	9,48	18	24,8	0,948	8,532	107,13	124,99	124,99
condutividade	179,4	110,25	18	24,8	11,025	99,225	53,57	58,03	58,03
fluoreto	0,10	0,0036	23	26,0	0,00036	0,00324	5,98	5,98	5,98

magnésio	3,9	0,504	18	24,8	0,0504	0,4536	58,03	58,03	58,03
pH	6,7	0,28	18	24,8	0,028	0,252	107,13	120,53	120,53
sódio	19,6	20,34	18	24,8	2,034	18,306	93,74	93,74	93,74

Tabela C.2.5 - Parâmetros para a variografia da Fonte Verônica com as duplicatas

Verônica									
Parâmetros	Média	Variância Total	Número de Lags	Distância Entre Lags	C0	C1	Ranges		
							Min	Med	Max
alcalinidade bicarbonato	11,815	0,152	20	3,55	0,0152	0,1368	5,68	6,39	6,39
alcalinidade carbonato	10,915	0,384	20	3,55	0,0384	0,3456	7,81	10,65	10,65
cálcio	6,5185	0,0225	20	3,55	0,00225	0,02025	10,65	11,36	11,36
cloreto	2,9	0,29	20	3,55	0,03	0,26	15,62	17,04	17,04
condutividade	0,6175	0,0019	20	3,55	0,00019	0,00171	20,59	22,72	22,72
fluoreto	0,1371	0,00326	40	1,775	0,0003	0,00296	11,36	13,49	13,49
magnésio	3,36	0,0175	20	3,55	0,00175	0,01575	8,52	9,23	9,23
pH	6,4	0,13	20	3,55	0,01	0,12	3,55	4,26	4,26
sódio	7,02	0,205	20	3,55	0,02	0,185	29,82	29,82	29,82

Tabela C.2.6 - Parâmetros para a variografia da Fonte Verônica sem as duplicatas

Verônica									
Parâmetros	Média	Variância Total	Número de Lags	Distância Entre Lags	C0	C1	Ranges		
							Min	Med	Max
alcalinidade bicarbonato	11,8	0,152	13	5,46	0,015	0,137	4,26	4,97	4,97

alcalinidade carbonato	11,0	0,504	13	5,46	0,051	0,453	4,26	5,68	5,68
cálcio	6,5	0,0225	13	5,46	0,00225	0,02025	6,38	6,38	6,38
cloreto	3,1	0,33	13	5,46	0,03	0,3	7,10	9,23	9,23
condutividade	0,61	0,0016	13	5,46	0,0002	0,0014	7,81	7,81	7,81
fluoreto	0,10	0,0001	13	5,46	0,00001	0,00009	8,51	10,65	10,65
magnésio	3,4	0,0196	13	5,46	0,00196	0,01764	4,97	6,38	6,38
pH	6,6	0,0961	13	5,46	0,00961	0,08649	2,84	2,84	2,84
sódio	7,0	0,22	13	5,46	0,022	0,198	20,58	20,58	20,58

D - MEMORIAL DE CÁLCULO DA VARIÂNCIA DE EXTENSÃO – TODAS AS FONTES

D.1 Fonte Santo Antonio

Alcalinidade – Variância total = $\sigma^2 = 99,46$ e Média = $\mu = 49,21$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{-}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{-}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	10,43480	10,95022	9,91938	9,97%	3,14950	0,41%	1,23%	48,61	49,81
(2,0,0)	(4,0,0)	4	10,95022	11,97882	9,92162	9,98%	3,14986	0,41%	1,23%	48,61	49,81
(4,0,0)	(8,0,0)	8	11,97882	14,02601	9,93163	9,99%	3,15145	0,41%	1,23%	48,60	49,82
(8,0,0)	(16,0,0)	16	14,02601	18,09889	9,95313	10,01%	3,15486	0,41%	1,23%	48,60	49,82
(16,0,0)	(32,0,0)	32	18,09889	26,10021	10,09757	10,15%	3,17767	0,42%	1,25%	48,59	49,83
(32,0,0)	(64,0,0)	64	26,10021	40,95559	11,24483	11,31%	3,35333	0,46%	1,39%	48,52	49,90
(64,0,0)	(128,0,0)	128	40,95559	62,00222	19,90896	20,02%	4,46195	0,82%	2,47%	48,00	50,42
(128,0,0)	(256,0,0)	256	62,00222	78,43956	45,56488	45,81%	6,75018	1,88%	5,64%	46,43	51,99
(256,0,0)	(512,0,0)	512	78,43956	88,08265	68,79647	69,17%	8,29436	2,84%	8,52%	45,02	53,40
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	88,08265	93,21908	82,94622	83,40%	9,10748	3,43%	10,28%	44,15	54,27
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	93,21908	95,86100	90,57716	91,07%	9,51720	3,74%	11,22%	43,69	54,73
Cálcio – Variância total = $\sigma^2 = 2,5916$ e Média = $\mu = 8,2755$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{-}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{-}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,27483	0,29049	0,25916	10,00%	0,50908	0,38%	1,14%	8,18	8,37
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,29049	0,32212	0,25886	9,99%	0,50878	0,38%	1,13%	8,18	8,37
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,32212	0,38530	0,25895	9,99%	0,50887	0,38%	1,13%	8,18	8,37
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,38530	0,51094	0,25966	10,02%	0,50957	0,38%	1,14%	8,18	8,37
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,51094	0,75589	0,26600	10,26%	0,51575	0,39%	1,17%	8,18	8,37
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,75589	1,19539	0,31638	12,21%	0,56248	0,46%	1,39%	8,16	8,39

(64,0,0)	(128,0,0)	128	1,19539	1,74206	0,64873	25,03%	0,80544	0,95%	2,84%	8,04	8,51
(128,0,0)	(256,0,0)	256	1,74206	2,13091	1,35320	52,21%	1,16327	1,98%	5,93%	7,78	8,77
(256,0,0)	(512,0,0)	512	2,13091	2,34767	1,91416	73,86%	1,38353	2,80%	8,39%	7,58	8,97
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	2,34767	2,46275	2,23259	86,15%	1,49418	3,26%	9,78%	7,47	9,08
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	2,46275	2,52167	2,40382	92,75%	1,55042	3,51%	10,53%	7,40	9,15
Cloreto – Variância total = $\sigma^2 = 9,79$ e Média = $\mu = 18,27$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{Y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{Y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,99912	1,01819	0,98006	10,01%	0,98998	0,29%	0,88%	18,11	18,43
(2,0,0)	(4,0,0)	4	1,01819	1,05652	0,97986	10,01%	0,98988	0,29%	0,88%	18,11	18,43
(4,0,0)	(8,0,0)	8	1,05652	1,13347	0,97957	10,01%	0,98973	0,29%	0,88%	18,11	18,43
(8,0,0)	(16,0,0)	16	1,13347	1,28793	0,97901	10,00%	0,98945	0,29%	0,88%	18,11	18,43
(16,0,0)	(32,0,0)	32	1,28793	1,59594	0,97993	10,01%	0,98991	0,29%	0,88%	18,11	18,43
(32,0,0)	(64,0,0)	64	1,59594	2,20573	0,98614	10,07%	0,99305	0,30%	0,89%	18,11	18,43
(64,0,0)	(128,0,0)	128	2,20573	3,37451	1,03695	10,59%	1,01831	0,31%	0,93%	18,10	18,44
(128,0,0)	(256,0,0)	256	3,37451	5,30361	1,44540	14,76%	1,20225	0,43%	1,30%	18,03	18,51
(256,0,0)	(512,0,0)	512	5,30361	7,22394	3,38329	34,56%	1,83937	1,01%	3,04%	17,71	18,83
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	7,22394	8,46150	5,98637	61,15%	2,44671	1,79%	5,38%	17,29	19,25
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	8,46150	9,15483	7,76817	79,35%	2,78714	2,33%	6,98%	16,99	19,55
Condutividade – Variância total = $\sigma^2 = 105,72$ e Média = $\mu = 179,575$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{Y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{Y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	11,15232	11,71703	10,58761	10,01%	3,25386	0,03%	0,10%	179,40	179,58
(2,0,0)	(4,0,0)	4	11,71703	12,86362	10,57044	10,00%	3,25122	0,03%	0,10%	179,40	179,58
(4,0,0)	(8,0,0)	8	12,86362	15,15646	10,57078	10,00%	3,25127	0,03%	0,10%	179,40	179,58
(8,0,0)	(16,0,0)	16	15,15646	19,72140	10,59150	10,02%	3,25446	0,03%	0,10%	179,40	179,58
(16,0,0)	(32,0,0)	32	19,72142	28,67400	10,76884	10,19%	3,28159	0,03%	0,10%	179,40	179,58
(32,0,0)	(64,0,0)	64	28,67400	45,13326	12,21474	11,55%	3,49496	0,04%	0,11%	179,37	179,58

(64,0,0)	(128,0,0)	128	45,13326	67,40076	22,86576	21,63%	4,78182	0,07%	0,21%	179,19	179,58
(128,0,0)	(256,0,0)	256	67,40076	84,18149	50,62003	47,88%	7,11478	0,16%	0,47%	178,73	179,58
(256,0,0)	(512,0,0)	512	84,18149	93,94062	74,42236	70,40%	8,62684	0,23%	0,69%	178,33	179,59
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	93,94062	99,15371	88,72753	83,93%	9,41953	0,28%	0,83%	178,09	179,59
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	99,15371	101,84600	96,46142	91,24%	9,82148	0,30%	0,90%	177,96	179,59
Fluoreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,104$ e Média = $\mu = 0,0037$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,000509	0,000648	0,00037	10,00%	0,01924	3,42%	10,26%	0,09	0,11
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,000648	0,000921	0,00038	10,14%	0,01936	3,47%	10,40%	0,09	0,11
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,000921	0,001435	0,00041	11,00%	0,02017	3,76%	11,29%	0,09	0,11
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,001435	0,002205	0,00067	17,97%	0,02579	6,15%	18,44%	0,08	0,12
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,002205	0,002853	0,00156	42,08%	0,03946	14,40%	43,19%	0,06	0,15
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,002853	0,003242	0,00246	66,59%	0,04964	22,78%	68,34%	0,03	0,17
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,003242	0,003453	0,00303	81,92%	0,05505	28,02%	84,07%	0,01	0,19
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,003453	0,003563	0,00334	90,35%	0,05782	30,91%	92,72%	0,00	0,20
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,003563	0,003618	0,00351	94,81%	0,05923	32,43%	97,30%	0,00	0,20
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,003618	0,003647	0,00359	97,00%	0,05991	33,18%	99,55%	0,00	0,20
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,003647	0,003661	0,00363	98,19%	0,06027	33,59%	100,77%	-0,00	0,21
Magnésio – Variância total = $\sigma^2 = 0,505$ e Média = $\mu = 3,944$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,054207	0,058023	0,05039	9,98%	0,22448	0,32%	0,97%	3,90	3,98
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,058023	0,065629	0,05042	9,98%	0,22454	0,32%	0,97%	3,90	3,98
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,065629	0,080803	0,05046	9,99%	0,22462	0,32%	0,97%	3,90	3,98
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,080803	0,110835	0,05077	10,05%	0,22532	0,33%	0,98%	3,90	3,98
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,110835	0,168577	0,05309	10,51%	0,23042	0,34%	1,02%	3,90	3,98
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,168577	0,265780	0,07137	14,13%	0,26716	0,46%	1,38%	3,89	3,99

(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,265780	0,364881	0,16668	33,01%	0,40826	1,07%	3,21%	3,81	4,07
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,364881	0,428517	0,30125	59,65%	0,54886	1,94%	5,81%	3,71	4,17
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,428517	0,463888	0,39315	77,85%	0,62701	2,53%	7,58%	3,64	4,24
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,463888	0,482423	0,44535	88,19%	0,66735	2,86%	8,59%	3,60	4,28
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,482423	0,491941	0,47291	93,64%	0,68768	3,04%	9,12%	3,58	4,30
pH – Variância total = $\sigma^2 = 0,27$ e Média = $\mu = 6,7$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,03083	0,03168	0,02998	11,10%	0,17314	0,07%	0,20%	6,68	6,71
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,03168	0,03338	0,02999	11,11%	0,17318	0,07%	0,20%	6,68	6,71
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,03338	0,03677	0,02999	11,11%	0,17316	0,07%	0,20%	6,68	6,71
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,03677	0,04354	0,02999	11,11%	0,17318	0,07%	0,20%	6,68	6,71
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,04354	0,05699	0,03009	11,14%	0,17346	0,07%	0,20%	6,68	6,71
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,05699	0,08319	0,03078	11,40%	0,17545	0,07%	0,21%	6,68	6,71
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,08319	0,12976	0,03663	13,57%	0,19139	0,08%	0,24%	6,68	6,71
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,12976	0,18487	0,07464	27,65%	0,27321	0,17%	0,50%	6,66	6,73
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,18487	0,22333	0,14641	54,23%	0,38263	0,33%	0,98%	6,63	6,76
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,22333	0,24509	0,20157	74,66%	0,44897	0,45%	1,35%	6,61	6,79
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,24509	0,25660	0,23358	86,51%	0,48330	0,52%	1,56%	6,59	6,80
Sódio – Variância total = $\sigma^2 = 18,85$ e Média = $\mu = 19,83$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	1,91241	1,97615	1,84866	9,81%	1,35965	0,47%	1,41%	19,55	19,83
(2,0,0)	(4,0,0)	4	1,97615	2,10491	1,84739	9,80%	1,35919	0,47%	1,41%	19,55	19,83
(4,0,0)	(8,0,0)	8	2,10491	2,36239	1,84743	9,80%	1,35920	0,47%	1,41%	19,55	19,83
(8,0,0)	(16,0,0)	16	2,36239	2,87531	1,84947	9,81%	1,35995	0,47%	1,41%	19,55	19,83
(16,0,0)	(32,0,0)	32	2,87531	3,89328	1,85735	9,85%	1,36285	0,47%	1,42%	19,55	19,83
(32,0,0)	(64,0,0)	64	3,89328	5,86668	1,91988	10,19%	1,38560	0,49%	1,46%	19,54	19,83

(64,0,0)	(128,0,0)	128	5,86668	9,30554	2,42782	12,88%	1,55815	0,62%	1,85%	19,46	19,83
(128,0,0)	(256,0,0)	256	9,30554	13,19069	5,42038	28,76%	2,32817	1,38%	4,14%	19,01	19,84
(256,0,0)	(512,0,0)	512	13,19069	15,83990	10,54141	55,92%	3,24675	2,68%	8,04%	18,24	19,85
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	15,83997	17,3124	14,36750	76,22%	3,79045	3,65%	10,96%	17,66	19,85
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	17,31244	18,06718	16,55770	87,84%	4,06912	4,21%	12,63%	17,33	19,86

D.2 Fonte Sonja

Alcalinidade – Variância total = $\sigma^2 = 70,87$ e Média = $\mu = 49,15$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	7,87019	8,66251	7,07787	9,99%	2,66043	0,29%	0,88%	48,72	49,58
(2,0,0)	(4,0,0)	4	8,66251	10,24347	7,08155	9,99%	2,66112	0,29%	0,88%	48,72	49,58
(4,0,0)	(8,0,0)	8	10,24347	13,39089	7,09605	10,01%	2,66384	0,29%	0,88%	48,72	49,58
(8,0,0)	(16,0,0)	16	13,39089	19,55608	7,22570	10,20%	2,68807	0,30%	0,90%	48,71	49,59
(16,0,0)	(32,0,0)	32	19,55608	30,83010	8,28206	11,69%	2,87786	0,34%	1,03%	48,64	49,66
(32,0,0)	(64,0,0)	64	30,83010	45,89096	15,76924	22,25%	3,97105	0,65%	1,96%	48,19	50,11
(64,0,0)	(128,0,0)	128	45,89096	57,22381	34,55811	48,76%	5,87861	1,43%	4,29%	47,04	51,26
(128,0,0)	(256,0,0)	256	57,22381	63,89765	50,54997	71,33%	7,10985	2,09%	6,28%	46,06	52,24
(256,0,0)	(512,0,0)	512	63,89765	67,49184	60,30346	85,09%	7,76553	2,50%	7,49%	45,47	52,83
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	67,49184	69,36123	65,62245	92,60%	8,10077	2,72%	8,15%	45,14	53,16
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	69,36123	70,31702	68,40544	96,52%	8,27076	2,83%	8,50%	44,97	53,33
Cálcio – Variância total = $\sigma^2 = 17,35$ e Média = $\mu = 16,39$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	1,77684	1,82224	1,73144	9,98%	1,31584	0,64%	1,93%	16,07	16,70
(2,0,0)	(4,0,0)	4	1,82224	1,91390	1,73058	9,97%	1,31551	0,64%	1,93%	16,07	16,70
(4,0,0)	(8,0,0)	8	1,91390	2,09579	1,73200	9,98%	1,31606	0,64%	1,93%	16,07	16,70
(8,0,0)	(16,0,0)	16	2,09579	2,45838	1,73320	9,99%	1,31651	0,65%	1,94%	16,07	16,70
(16,0,0)	(32,0,0)	32	2,45838	3,18026	1,73650	10,01%	1,31776	0,65%	1,94%	16,02	16,71
(32,0,0)	(64,0,0)	64	3,18026	4,59775	1,76276	10,16%	1,32769	0,66%	1,97%	16,06	16,71
(64,0,0)	(128,0,0)	128	4,59775	7,22358	1,97193	11,37%	1,40425	0,73%	2,20%	16,03	16,75
(128,0,0)	(256,0,0)	256	7,22358	10,87325	3,57391	20,60%	1,89048	1,33%	3,99%	15,74	17,04

(256,0,0)	(512,0,0)	512	10,87325	13,71316	8,03334	46,30%	2,83431	2,99%	8,97%	14,92	17,86
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	13,71316	15,37670	12,04962	69,45%	3,47126	4,49%	13,46%	14,14	18,60
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	15,37670	16,26553	14,48787	83,50%	3,80629	5,39%	16,18%	13,74	19,04
Cloreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,285$ e Média = $\mu = 4,38$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,03360	0,03862	0,02858	10,03%	0,16906	0,15%	0,45%	4,36	4,39
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,03862	0,04862	0,02861	10,04%	0,16915	0,15%	0,45%	4,36	4,39
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,04862	0,06837	0,02887	10,13%	0,16990	0,15%	0,45%	4,36	4,39
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,06837	0,10581	0,03094	10,86%	0,17589	0,16%	0,48%	4,35	4,39
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,10581	0,16427	0,04735	16,61%	0,21760	0,25%	0,74%	4,34	4,41
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,16427	0,21629	0,11224	39,38%	0,33503	0,59%	1,76%	4,30	4,45
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,21629	0,24831	0,18427	64,66%	0,42927	0,96%	2,88%	4,25	4,50
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,24831	0,26571	0,23092	81,02%	0,48054	1,20%	3,61%	4,22	4,53
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,26571	0,27473	0,25669	90,07%	0,50665	1,34%	4,02%	4,20	4,55
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,27473	0,27933	0,27013	94,78%	0,51974	1,41%	4,23%	4,19	4,56
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,27933	0,28163	0,27702	97,20%	0,52633	1,45%	4,34%	4,18	4,57
Condutividade – Variância total = $\sigma^2 = 501,92$ e Média = $\mu = 144,31$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	52,54699	54,76194	50,3320	10,03%	7,0945	0,24%	0,73%	143,26	145,35
(2,0,0)	(4,0,0)	4	54,76194	59,30923	50,2146	10,00%	7,0863	0,24%	0,72%	143,26	145,35
(4,0,0)	(8,0,0)	8	59,30923	68,42634	50,1921	10,00%	7,0846	0,24%	0,72%	143,26	145,35
(8,0,0)	(16,0,0)	16	68,42634	86,61797	50,2347	10,01%	7,0876	0,24%	0,72%	143,26	145,35
(16,0,0)	(32,0,0)	32	86,61797	122,51540	50,7205	10,11%	7,1218	0,24%	0,73%	143,25	145,36
(32,0,0)	(64,0,0)	64	122,51540	190,27890	54,7519	10,91%	7,3994	0,26%	0,79%	143,17	145,45
(64,0,0)	(128,0,0)	128	190,27890	294,25310	86,3047	17,19%	9,2900	0,41%	1,24%	142,51	146,10
(128,0,0)	(256,0,0)	256	294,25310	385,53960	202,9666	40,44%	14,2466	0,97%	2,92%	140,09	148,53
(256,0,0)	(512,0,0)	512	385,53960	441,47700	329,6022	65,67%	18,1549	1,58%	4,75%	137,46	151,16

(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	441,47700	472,36110	410,593	81,80%	20,2630	1,97%	5,91%	135,77	152,84
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	472,36110	488,49580	456,2264	90,90%	21,3594	2,19%	6,57%	134,82	153,79
Fluoreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,006$ e Média = $\mu = 0,1256$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{Y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{Y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,000627	0,00065	0,00060	10,02%	0,02452	3,81%	11,43%	0,11	0,14
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,000653	0,00070	0,00060	10,00%	0,02449	3,80%	11,41%	0,11	0,14
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,000706	0,00081	0,00060	9,98%	0,02447	3,80%	11,39%	0,11	0,14
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,000813	0,00103	0,00060	9,98%	0,02447	3,80%	11,39%	0,11	0,14
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,001027	0,00145	0,00061	10,10%	0,02462	3,84%	11,52%	0,11	0,14
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,001448	0,00224	0,00065	10,85%	0,02551	4,13%	12,38%	0,11	0,14
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,002245	0,00348	0,00101	16,78%	0,03173	6,38%	19,15%	0,10	0,15
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,003483	0,00457	0,00239	39,82%	0,04888	15,14%	45,43%	0,07	0,18
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,004577	0,00524	0,00391	65,18%	0,06254	24,79%	74,38%	0,03	0,22
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,005243	0,00560	0,00488	81,33%	0,06986	30,93%	92,80%	0,00	0,24
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,005606	0,00579	0,00542	90,32%	0,07361	34,35%	103,05%	-0,00	0,25
Lítio – Variância total = $\sigma^2 = 0,000023$ e Média = $\mu = 0,02785$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{Y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{Y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,000002	0,000002	0,00000	8,70%	0,00141	0,26%	0,77%	0,02	0,03
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,000002	0,000003	0,00000	4,35%	0,00100	0,13%	0,39%	0,02	0,03
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,000003	0,000003	0,00000	13,04%	0,00173	0,39%	1,16%	0,02	0,03
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,000003	0,000004	0,00000	8,70%	0,00141	0,26%	0,77%	0,02	0,03
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,000004	0,000005	0,00000	13,04%	0,00173	0,39%	1,16%	0,02	0,03
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,000005	0,000008	0,00000	8,70%	0,00141	0,26%	0,77%	0,02	0,03
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,000008	0,000013	0,00000	13,04%	0,00173	0,39%	1,16%	0,02	0,03
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,000013	0,000017	0,00001	39,13%	0,00300	1,16%	3,48%	0,02	0,03
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,000017	0,000020	0,00001	60,87%	0,00374	1,81%	5,42%	0,02	0,03
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,000020	0,000021	0,00002	82,61%	0,00436	2,45%	7,35%	0,02	0,03

(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,000021	0,000022	0,00002	86,96%	0,00447	2,58%	7,74%	0,02	0,03
Magnésio – Variância total = $\sigma^2 = 0,038$ e Média = $\mu = 1,951$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,004059	0,004317	0,00380	10,00%	0,06165	0,10%	0,30%	1,94	1,96
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,004317	0,004834	0,00380	10,00%	0,06164	0,10%	0,30%	1,94	1,96
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,004834	0,005869	0,00380	10,00%	0,06164	0,10%	0,30%	1,94	1,96
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,005869	0,007924	0,00381	10,04%	0,06176	0,10%	0,30%	1,94	1,96
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,007924	0,011905	0,00394	10,38%	0,06279	0,10%	0,31%	1,94	1,96
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,011905	0,018837	0,00497	13,09%	0,07052	0,13%	0,39%	1,94	1,96
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,018837	0,026503	0,01117	29,40%	0,10569	0,29%	0,88%	1,93	1,97
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,026503	0,031617	0,02139	56,29%	0,14625	0,56%	1,69%	1,92	1,98
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,031617	0,034555	0,02868	75,47%	0,16935	0,75%	2,26%	1,90	1,99
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,034555	0,036133	0,03298	86,78%	0,18160	0,87%	2,60%	1,90	2,00
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,036133	0,036949	0,03532	92,94%	0,18793	0,93%	2,78%	1,89	2,00
pH – Variância total = $\sigma^2 = 0,018$ e Média = $\mu = 7,434$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00193	0,00202	0,00185	10,26%	0,04297	0,00%	0,01%	7,43	7,43
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00202	0,00220	0,00185	10,26%	0,04297	0,00%	0,01%	7,43	7,43
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00220	0,00255	0,00185	10,27%	0,04299	0,00%	0,01%	7,43	7,43
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00255	0,00324	0,00185	10,29%	0,04303	0,00%	0,01%	7,43	7,43
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00324	0,00462	0,00187	10,40%	0,04327	0,00%	0,01%	7,43	7,43
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,00462	0,00719	0,00204	11,32%	0,04514	0,00%	0,01%	7,43	7,43
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,00719	0,01106	0,00333	18,48%	0,05767	0,01%	0,02%	7,43	7,43
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,01106	0,01434	0,00778	43,24%	0,08822	0,01%	0,04%	7,43	7,43
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,01434	0,01633	0,01235	68,62%	0,11114	0,02%	0,07%	7,43	7,44
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,01633	0,01736	0,01530	84,98%	0,12368	0,03%	0,08%	7,43	7,44
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,01736	0,01789	0,01683	93,51%	0,12974	0,03%	0,09%	7,43	7,44

Sódio – Variância total = $\sigma^2 = 2,550$ e Média = $\mu = 12,795$

$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,27885	0,30289	0,255	9,99%	0,50478	0,16%	0,47%	12,73	12,85
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,30289	0,35113	0,255	9,99%	0,50464	0,16%	0,47%	12,73	12,85
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,35113	0,44711	0,255	10,01%	0,50512	0,16%	0,47%	12,73	12,85
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,44712	0,63618	0,258	10,12%	0,50799	0,16%	0,47%	12,73	12,85
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,63618	0,99155	0,281	11,01%	0,52991	0,17%	0,51%	12,72	12,86
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,99155	1,52146	0,462	18,10%	0,67945	0,28%	0,85%	12,68	12,93
(64,0,0)	(128,0,0)	128	1,52146	1,96496	1,078	42,27%	1,03824	0,66%	1,98%	12,54	13,05
(128,0,0)	(256,0,0)	256	1,96496	2,23045	1,699	66,65%	1,30364	1,04%	3,11%	12,39	13,19
(256,0,0)	(512,0,0)	512	2,23045	2,37357	2,087	81,86%	1,44476	1,27%	3,82%	12,30	13,28
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	2,37357	2,44802	2,299	90,16%	1,51629	1,40%	4,21%	12,25	13,33
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	2,44802	2,48264	2,413	94,64%	1,55351	1,47%	4,42%	12,23	13,36

D.3 Fonte Santa Lúcia

Alcalinidade – Variância total = $\sigma^2 = 0,198$ e Média = $\mu = 21,06$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,02398	0,02818	0,01978	9,99%	0,14064	0,00%	0,01%	21,06	21,06
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,02818	0,03653	0,01982	10,01%	0,14080	0,00%	0,01%	21,06	21,06
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,03653	0,05292	0,02013	10,17%	0,14189	0,00%	0,01%	21,06	21,06
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,05292	0,08320	0,02264	11,43%	0,15047	0,01%	0,02%	21,06	21,06
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,08320	0,12490	0,04150	20,96%	0,20370	0,01%	0,03%	21,05	21,07
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,12490	0,15773	0,09207	46,50%	0,30344	0,02%	0,06%	21,05	21,07
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,15773	0,17722	0,13824	69,82%	0,37181	0,03%	0,09%	21,04	21,08
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,17722	0,18780	0,16663	84,16%	0,40821	0,04%	0,11%	21,04	21,08
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,18780	0,19332	0,18229	92,06%	0,42695	0,04%	0,12%	21,03	21,09
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,19332	0,19613	0,19051	96,22%	0,43648	0,04%	0,13%	21,03	21,09
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,19613	0,19754	0,19471	98,34%	0,44126	0,04%	0,13%	21,03	21,09
Cálcio – Variância total = $\sigma^2 = 0,185$ e Média = $\mu = 9,8$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	Min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,02046	0,02242	0,01850	10,00%	0,13600	0,02%	0,06%	9,79	9,81
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,02242	0,03414	0,01070	5,78%	0,10343	0,01%	0,03%	9,80	9,80
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,03414	0,04945	0,01882	10,17%	0,13720	0,02%	0,06%	9,79	9,81
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,04945	0,07774	0,02116	11,44%	0,14545	0,02%	0,07%	9,79	9,81
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,07774	0,11704	0,03845	20,78%	0,19608	0,04%	0,12%	9,79	9,81
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,11704	0,11704	0,11704	63,26%	0,34211	0,12%	0,37%	9,76	9,84
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,11704	0,14782	0,08626	46,62%	0,29369	0,09%	0,27%	9,77	9,83
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,14782	0,16613	0,12951	70,00%	0,35987	0,13%	0,40%	9,76	9,84
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,16613	0,17602	0,15623	84,45%	0,39526	0,16%	0,49%	9,75	9,85

(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,17602	0,18113	0,17091	92,38%	0,41341	0,18%	0,53%	9,75	9,85
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,18113	0,18374	0,17852	96,50%	0,42252	0,19%	0,56%	9,75	9,85
Cloreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,00107$ e Média = $\mu = 0,152$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00009	0,00012	0,00007	6,45%	0,00831	0,30%	0,90%	0,15	0,15
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00012	0,00016	0,00007	6,64%	0,00843	0,31%	0,92%	0,15	0,15
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00016	0,00025	0,00007	6,73%	0,00849	0,31%	0,93%	0,15	0,15
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00025	0,00042	0,00009	7,94%	0,00922	0,37%	1,10%	0,15	0,15
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00042	0,00066	0,00019	17,48%	0,01367	0,81%	2,43%	0,15	0,16
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,00066	0,00085	0,00047	44,11%	0,02173	2,04%	6,13%	0,14	0,16
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,00085	0,00096	0,00073	68,50%	0,02707	3,17%	9,52%	0,14	0,17
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,00096	0,00102	0,00090	83,93%	0,02997	3,89%	11,66%	0,13	0,17
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,00102	0,00105	0,00099	92,43%	0,03145	4,28%	12,84%	0,13	0,17
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,00105	0,00107	0,00103	96,64%	0,03216	4,48%	13,43%	0,13	0,17
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,00107	0,00108	0,00106	99,07%	0,03256	4,59%	13,76%	0,13	0,17
Condutividade – Variância total = $\sigma^2 = 29,15$ e Média = $\mu = 121,58$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	3,25648	3,59987	2,91310	9,99%	1,70678	0,02%	0,06%	121,51	121,65
(2,0,0)	(4,0,0)	4	3,59987	4,28591	2,91383	10,00%	1,70700	0,02%	0,06%	121,51	121,65
(4,0,0)	(8,0,0)	8	4,28591	5,64947	2,92235	10,03%	1,70949	0,02%	0,06%	121,51	121,65
(8,0,0)	(16,0,0)	16	5,64947	8,31476	2,98417	10,24%	1,72748	0,02%	0,06%	121,51	121,65
(16,0,0)	(32,0,0)	32	8,31476	13,13782	3,49171	11,98%	1,86861	0,02%	0,07%	121,49	121,67
(32,0,0)	(64,0,0)	64	13,13782	19,30554	6,97010	23,91%	2,64009	0,05%	0,14%	121,41	121,75
(64,0,0)	(128,0,0)	128	19,30554	23,85659	14,75449	50,62%	3,84116	0,10%	0,30%	121,22	121,94
(128,0,0)	(256,0,0)	256	23,85659	26,50965	21,20353	72,74%	4,60473	0,14%	0,43%	121,06	122,10
(256,0,0)	(512,0,0)	512	26,50965	27,94841	25,07089	86,01%	5,00708	0,17%	0,51%	120,96	122,20
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	27,94841	28,69039	27,20643	93,33%	5,21598	0,18%	0,55%	120,91	122,25

(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	28,69039	29,06907	28,31171	97,12%	5,32087	0,19%	0,57%	120,88	122,28
Fluoreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,00052$ e Média = $\mu = 0,122$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{\gamma}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{\gamma}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00006	0,00007	0,00005	9,62%	0,00707	0,34%	1,01%	0,12	0,12
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00007	0,00008	0,00005	9,81%	0,00714	0,34%	1,03%	0,12	0,12
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00008	0,00011	0,00005	9,62%	0,00707	0,34%	1,01%	0,12	0,12
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00011	0,00017	0,00005	10,00%	0,00721	0,35%	1,05%	0,12	0,12
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00017	0,00027	0,00007	13,85%	0,00849	0,48%	1,45%	0,12	0,12
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,00027	0,00038	0,00017	32,50%	0,01300	1,14%	3,41%	0,12	0,13
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,00038	0,00044	0,00031	59,23%	0,01755	2,07%	6,21%	0,11	0,13
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,00044	0,00048	0,00041	77,88%	0,02012	2,72%	8,16%	0,11	0,13
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,00048	0,00050	0,00046	88,27%	0,02142	3,08%	9,25%	0,11	0,13
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,00050	0,00051	0,00049	94,04%	0,02211	3,29%	9,86%	0,11	0,13
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,00051	0,00052	0,00050	96,35%	0,02238	3,37%	10,10%	0,11	0,13
Magnésio – Variância total = $\sigma^2 = 0,0063$ e Média = $\mu = 9,552$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{\gamma}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{\gamma}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00068	0,00072	0,00063	9,98%	0,02508	0,00%	0,00%	9,55	9,55
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00072	0,00082	0,00063	9,98%	0,02508	0,00%	0,00%	9,55	9,55
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00082	0,00100	0,00063	10,00%	0,02510	0,00%	0,00%	9,55	9,55
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00100	0,00138	0,00063	10,05%	0,02516	0,00%	0,00%	9,55	9,55
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00138	0,00209	0,00066	10,49%	0,02571	0,00%	0,00%	9,55	9,55
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,00209	0,00330	0,00088	14,00%	0,02970	0,00%	0,00%	9,55	9,55
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,00330	0,00456	0,00204	32,33%	0,04513	0,00%	0,01%	9,55	9,55
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,00456	0,00538	0,00373	59,19%	0,06107	0,00%	0,01%	9,55	9,55
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,00538	0,00584	0,00492	78,11%	0,07015	0,01%	0,02%	9,55	9,55
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,00584	0,00609	0,00560	88,83%	0,07481	0,01%	0,02%	9,55	9,55
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,00609	0,00621	0,00596	94,60%	0,07720	0,01%	0,02%	9,55	9,55

pH – Variância total = $\sigma^2 = 0,123$ e Média = $\mu = 6,36$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{2}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{2}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,01813	0,02323	0,01302	10,58%	0,11410	0,03%	0,10%	6,35	6,37
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,02323	0,03326	0,01321	10,74%	0,11492	0,03%	0,10%	6,35	6,37
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,03326	0,05181	0,01470	11,95%	0,12125	0,04%	0,11%	6,35	6,37
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,05181	0,07764	0,02599	21,13%	0,16120	0,06%	0,19%	6,35	6,37
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,07764	0,09796	0,05732	46,60%	0,23941	0,14%	0,43%	6,33	6,39
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,09796	0,11002	0,08590	69,84%	0,29309	0,21%	0,64%	6,32	6,40
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,11002	0,11654	0,10350	84,15%	0,32171	0,26%	0,77%	6,31	6,41
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,11654	0,11993	0,11315	91,99%	0,33638	0,28%	0,84%	6,31	6,41
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,11993	0,12167	0,11819	96,09%	0,34378	0,29%	0,88%	6,30	6,42
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,12167	0,12255	0,12080	98,21%	0,34757	0,30%	0,90%	6,30	6,42
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,12255	0,01230	0,23279	189,26%	0,48249	0,58%	1,73%	6,25	6,47
Sódio – Variância total = $\sigma^2 = 0,003$ e Média = $\mu = 0,952$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{2}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{2}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00031	0,00035	0,00027	9,93%	0,01643	0,03%	0,09%	0,95	0,95
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00035	0,00044	0,00027	9,89%	0,01640	0,03%	0,09%	0,95	0,95
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00044	0,00061	0,00027	10,00%	0,01649	0,03%	0,09%	0,95	0,95
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00061	0,00093	0,00029	10,48%	0,01688	0,03%	0,09%	0,95	0,95
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00093	0,00146	0,00039	14,49%	0,01985	0,04%	0,13%	0,95	0,95
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,00146	0,00232	0,00060	22,02%	0,02447	0,07%	0,20%	0,95	0,95
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,00232	0,00251	0,00214	78,53%	0,04622	0,24%	0,71%	0,95	0,96
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,00251	0,00260	0,00241	88,57%	0,04908	0,27%	0,80%	0,94	0,96
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,00260	0,00265	0,00255	93,90%	0,05054	0,28%	0,85%	0,94	0,96
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,00265	0,00268	0,00263	96,58%	0,05125	0,29%	0,87%	0,94	0,96
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,00268	0,00269	0,00266	97,83%	0,05158	0,29%	0,88%	0,94	0,96

D.4 Fonte Primavera

Alcalinidade – Variância total = $\sigma^2 = 0,775$ e Média = $\mu = 20,92$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,10717	0,13684	0,07750	10,00%	0,27839	0,02%	0,05%	20,91	20,93
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,13684	0,19523	0,07844	10,12%	0,28007	0,02%	0,05%	20,91	20,93
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,19523	0,30474	0,08573	11,06%	0,29279	0,02%	0,06%	20,91	20,93
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,30474	0,46731	0,14217	18,34%	0,37705	0,03%	0,10%	20,90	20,94
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,46731	0,60178	0,33284	42,95%	0,57693	0,08%	0,23%	20,87	20,97
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,60178	0,68193	0,52162	67,31%	0,72223	0,12%	0,36%	20,85	20,99
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,68193	0,72493	0,63894	82,44%	0,79934	0,15%	0,44%	20,83	21,01
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,72493	0,74706	0,70279	90,68%	0,83833	0,16%	0,48%	20,82	21,02
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,74706	0,75834	0,73578	94,94%	0,85778	0,17%	0,50%	20,81	21,03
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,75834	0,76402	0,75266	97,12%	0,86756	0,17%	0,52%	20,81	21,03
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,76402	0,76685	0,76120	98,22%	0,87247	0,17%	0,52%	20,81	21,03
Cálcio – Variância total = $\sigma^2 = 45,116$ e Média = $\mu = 25,02$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	5,37161	6,23869	4,50453	9,98%	2,12239	0,72%	2,16%	24,48	25,56
(2,0,0)	(4,0,0)	4	6,23869	7,96493	4,51245	10,00%	2,12425	0,72%	2,16%	24,48	25,56
(4,0,0)	(8,0,0)	8	7,96493	11,36697	4,56289	10,11%	2,13609	0,73%	2,19%	24,47	25,57
(8,0,0)	(16,0,0)	16	11,36697	17,74135	4,99259	11,07%	2,23441	0,80%	2,39%	24,42	25,62
(16,0,0)	(32,0,0)	32	17,74135	27,20988	8,27282	18,34%	2,87625	1,32%	3,96%	24,03	26,01
(32,0,0)	(64,0,0)	64	27,20988	35,17121	19,24855	42,66%	4,38732	3,07%	9,22%	22,71	27,33
(64,0,0)	(128,0,0)	128	35,17121	39,88914	30,45328	67,50%	5,51845	4,86%	14,59%	21,37	28,67
(128,0,0)	(256,0,0)	256	39,88914	42,44673	37,33155	82,75%	6,10995	5,96%	17,89%	20,54	29,50
(256,0,0)	(512,0,0)	512	42,44673	43,76259	41,13087	91,17%	6,41334	6,57%	19,71%	20,09	29,95
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	43,76259	44,43213	43,09305	95,52%	6,56453	6,88%	20,65%	19,85	30,19

(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	44,43213	44,76657	44,09769	97,74%	6,64061	7,04%	21,13%	19,73	30,31
Cloreto – Variância total = $\sigma^2 = 1,48$ e Média = $\mu = 11,56$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,16769	0,18542	0,14995	10,13%	0,38723	0,11%	0,34%	11,52	11,60
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,18542	0,22086	0,14998	10,13%	0,38727	0,11%	0,34%	11,52	11,60
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,22086	0,29133	0,15039	10,16%	0,38780	0,11%	0,34%	11,52	11,60
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,29133	0,42887	0,15380	10,39%	0,39217	0,12%	0,35%	11,52	11,60
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,42887	0,67676	0,18098	12,23%	0,42542	0,14%	0,41%	11,51	11,61
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,67676	1,21583	0,13769	9,30%	0,37107	0,10%	0,31%	11,52	11,60
(64,0,0)	(128,0,0)	128	1,21583	1,34744	1,08422	73,26%	1,04126	0,81%	2,43%	11,28	11,84
(128,0,0)	(256,0,0)	256	1,34744	1,41780	1,27708	86,29%	1,13008	0,96%	2,87%	11,23	11,89
(256,0,0)	(512,0,0)	512	1,41780	1,45401	1,38160	93,35%	1,17541	1,03%	3,10%	11,20	11,92
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	1,45401	1,47248	1,43554	97,00%	1,19814	1,07%	3,22%	11,19	11,93
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	1,47248	1,48349	1,46147	98,75%	1,20891	1,09%	3,28%	11,18	11,94
Condutividade – Variância total = $\sigma^2 = 6134,77$ e Média = $\mu = 204,32$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	647,3151	680,7604	613,8698	10,01%	24,7764	1,47%	4,41%	195,31	213,33
(2,0,0)	(4,0,0)	4	680,7604	748,2815	613,2393	10,00%	24,7637	1,47%	4,41%	195,32	213,32
(4,0,0)	(8,0,0)	8	748,2815	883,1935	613,3695	10,00%	24,7663	1,47%	4,41%	195,31	213,33
(8,0,0)	(16,0,0)	16	883,1935	1151,5310	614,8560	10,02%	24,7963	1,47%	4,42%	195,29	213,35
(16,0,0)	(32,0,0)	32	1151,5310	1676,1700	626,8920	10,22%	25,0378	1,50%	4,50%	195,12	213,52
(32,0,0)	(64,0,0)	64	1676,1700	2627,9980	724,3420	11,81%	26,9136	1,74%	5,21%	193,68	214,96
(64,0,0)	(128,0,0)	128	2627,9980	3857,7070	1398,2890	22,79%	37,3937	3,35%	10,05%	183,79	224,85
(128,0,0)	(256,0,0)	256	3857,7070	4751,7580	2963,6560	48,31%	54,4395	7,10%	21,30%	160,81	247,83
(256,0,0)	(512,0,0)	512	4751,7580	5260,7190	4242,7970	69,16%	65,1368	10,16%	30,49%	142,02	266,62
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	5260,7190	5529,7210	4991,7170	81,37%	70,6521	11,96%	35,87%	131,03	277,61
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	5529,7210	5668,2330	5391,2090	87,88%	73,4249	12,91%	38,74%	125,16	283,48

Fluoreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,0012$ e Média = $\mu = 0,116$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00011	0,00012	0,00010	8,25%	0,00995	0,74%	2,21%	0,11	0,12
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00012	0,00013	0,00010	8,42%	0,01005	0,75%	2,25%	0,11	0,12
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00013	0,00017	0,00010	8,25%	0,00995	0,74%	2,21%	0,11	0,12
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00017	0,00023	0,00010	8,42%	0,01005	0,75%	2,25%	0,11	0,12
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00023	0,00036	0,00010	8,67%	0,01020	0,77%	2,32%	0,11	0,12
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,00036	0,00059	0,00014	11,50%	0,01175	1,03%	3,08%	0,11	0,12
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,00059	0,00084	0,00033	27,83%	0,01828	2,48%	7,45%	0,11	0,12
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,00084	0,00101	0,00067	55,67%	0,02585	4,96%	14,89%	0,10	0,13
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,00101	0,00111	0,00091	75,92%	0,03018	6,77%	20,31%	0,09	0,14
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,00111	0,00116	0,00105	87,75%	0,03245	7,83%	23,48%	0,09	0,14
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,00116	0,00118	0,00113	94,25%	0,03363	8,41%	25,22%	0,09	0,15
Magnésio – Variância total = $\sigma^2 = 3,82$ e Média = $\mu = 12,94$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,44281	0,50397	0,38166	9,99%	0,61778	0,23%	0,68%	12,85	13,03
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,50397	0,62589	0,38205	10,00%	0,61810	0,23%	0,68%	12,85	13,03
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,62589	0,86729	0,38450	10,07%	0,62008	0,23%	0,69%	12,85	13,03
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,86729	1,32917	0,40540	10,61%	0,63671	0,24%	0,73%	12,85	13,03
(16,0,0)	(32,0,0)	32	1,32917	2,08645	0,57190	14,97%	0,75624	0,34%	1,02%	12,81	13,07
(32,0,0)	(64,0,0)	64	2,08645	2,81570	1,35720	35,53%	1,16499	0,81%	2,43%	12,63	13,25
(64,0,0)	(128,0,0)	128	2,81570	3,27967	2,35172	61,56%	1,53353	1,40%	4,21%	12,39	13,49
(128,0,0)	(256,0,0)	256	3,27967	3,53357	3,02577	79,21%	1,73947	1,81%	5,42%	12,24	13,64
(256,0,0)	(512,0,0)	512	3,53357	3,66560	3,40154	89,05%	1,84433	2,03%	6,09%	12,15	13,73
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	3,66560	3,73313	3,59808	94,19%	1,89686	2,15%	6,45%	12,11	13,77
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	3,73313	3,76702	3,69924	96,84%	1,92334	2,21%	6,63%	12,08	13,80
pH – Variância total = $\sigma^2 = 0,092$ e Média = $\mu = 7,43$											

$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{Y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{Y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,01102	0,01205	0,00999	10,86%	0,09997	0,02%	0,05%	7,42	7,43
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,01205	0,01411	0,01000	10,86%	0,09997	0,02%	0,05%	7,42	7,43
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,01411	0,01820	0,01002	10,89%	0,10008	0,02%	0,05%	7,42	7,43
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,01820	0,02621	0,01019	11,08%	0,10095	0,02%	0,06%	7,42	7,43
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,02621	0,04084	0,01159	12,59%	0,10764	0,02%	0,06%	7,42	7,43
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,04084	0,06021	0,02146	23,33%	0,14651	0,04%	0,12%	7,42	7,43
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,06021	0,07489	0,04553	49,49%	0,21338	0,08%	0,25%	7,41	7,44
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,07489	0,08355	0,06623	71,99%	0,25735	0,12%	0,36%	7,40	7,45
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,08355	0,08819	0,07890	85,76%	0,28089	0,14%	0,43%	7,39	7,46
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,08819	0,09182	0,08456	91,91%	0,29079	0,15%	0,46%	7,39	7,46
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,09059	0,09256	0,08863	96,33%	0,29770	0,16%	0,48%	7,39	7,46
Sódio – Variância total = $\sigma^2 = 0,45$ e Média = $\mu = 3,31$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{Y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{Y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,04116	0,04224	0,04007	8,90%	0,20017	0,37%	1,10%	3,27	0,04116
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,04224	0,04452	0,03997	8,88%	0,19991	0,36%	1,09%	3,27	0,04224
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,04452	0,04906	0,03997	8,88%	0,19993	0,36%	1,09%	3,27	0,04452
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,04906	0,05815	0,03997	8,88%	0,19993	0,36%	1,09%	3,27	0,04906
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,05815	0,07625	0,04005	8,90%	0,20013	0,37%	1,10%	3,27	0,05815
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,07625	0,11186	0,04064	9,03%	0,20159	0,37%	1,11%	3,27	0,07625
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,11186	0,17829	0,04542	10,09%	0,21313	0,41%	1,24%	3,27	0,11186
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,17829	0,27421	0,08237	18,30%	0,28699	0,75%	2,26%	3,24	0,17829
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,27421	0,35084	0,19758	43,91%	0,44450	1,80%	5,41%	3,13	0,27421
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,35084	0,42068	0,28101	62,45%	0,53010	2,56%	7,69%	3,06	0,35084
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,42068	0,43569	0,40566	90,15%	0,63691	3,70%	11,11%	2,94	0,42068

D.5 Fonte Juliana

Alcalinidade bicarbonato – Variância total = $\sigma^2 = 0,00$ e Média = $\mu = 12,50$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	12,50	12,50
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	12,50	12,50
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	12,50	12,50
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	12,50	12,50
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	12,50	12,50
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	12,50	12,50
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	12,50	12,50
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	12,50	12,50
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	12,50	12,50
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	12,50	12,50
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	12,50	12,50
Alcalinidade carbonato – Variância total = $\sigma^2 = 0,0033$ e Média = $\mu = 11,37$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00036	0,00039	0,00033	9,97%	0,01814	0,00%	0,00%	11,37	11,37
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00039	0,00046	0,00033	10,00%	0,01817	0,00%	0,00%	11,37	11,37
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00046	0,00058	0,00033	10,03%	0,01819	0,00%	0,00%	11,37	11,37
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00058	0,00083	0,00033	10,09%	0,01825	0,00%	0,00%	11,37	11,37
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00083	0,00129	0,00037	11,09%	0,01913	0,00%	0,00%	11,37	11,37
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,00129	0,00198	0,00060	18,21%	0,02452	0,00%	0,00%	11,37	11,37
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,00198	0,00257	0,00139	42,24%	0,03734	0,00%	0,00%	11,37	11,37
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,00257	0,00293	0,00221	67,03%	0,04703	0,00%	0,01%	11,37	11,37
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,00293	0,00313	0,00273	82,82%	0,05228	0,00%	0,01%	11,37	11,37
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,00313	0,00324	0,00303	91,73%	0,05502	0,00%	0,01%	11,37	11,37

(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,00324	0,00329	0,00318	96,42%	0,05641	0,00%	0,01%	11,37	11,37
Cálcio – Variância total = $\sigma^2 = 1,45$ e Média = $\mu = 6,90$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,15939	0,17431	0,14447	10,00%	0,38009	0,30%	0,91%	6,84	6,96
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,17431	0,20420	0,14442	9,99%	0,38002	0,30%	0,91%	6,84	6,96
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,20420	0,26371	0,14468	10,01%	0,38037	0,30%	0,91%	6,84	6,96
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,26371	0,38062	0,14680	10,16%	0,38314	0,31%	0,93%	6,84	6,96
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,38062	0,59734	0,16391	11,34%	0,40486	0,34%	1,03%	6,83	6,97
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,59734	0,90208	0,29260	20,25%	0,54092	0,61%	1,84%	6,77	7,03
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,90208	1,14414	0,66003	45,68%	0,81242	1,39%	4,16%	6,61	7,19
(128,0,0)	(256,0,0)	256	1,14414	1,29079	0,99748	69,03%	0,99874	2,10%	6,29%	6,47	7,33
(256,0,0)	(512,0,0)	512	1,29079	1,37067	1,21092	83,80%	1,10042	2,54%	7,63%	6,37	7,43
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	1,37067	1,41232	1,32901	91,97%	1,15283	2,79%	8,37%	6,32	7,48
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	1,41232	1,43359	1,39106	96,27%	1,17943	2,92%	8,77%	6,30	7,50
Cloreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,0289$ e Média = $\mu = 2,42$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00321	0,00354	0,00289	9,99%	0,05373	0,05%	0,15%	2,41	2,42
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00354	0,00419	0,00289	9,99%	0,05372	0,05%	0,15%	2,41	2,42
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00419	0,00549	0,00290	10,02%	0,05381	0,05%	0,15%	2,41	2,42
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00549	0,00803	0,00295	10,21%	0,05432	0,05%	0,15%	2,41	2,42
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00803	0,01266	0,00339	11,74%	0,05824	0,06%	0,17%	2,41	2,42
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,01266	0,01880	0,00652	22,56%	0,08075	0,11%	0,34%	2,41	2,42
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,01880	0,02345	0,01416	49,00%	0,11900	0,24%	0,73%	2,40	2,43
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,02345	0,02617	0,02072	71,69%	0,14394	0,36%	1,07%	2,39	2,44
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,02617	0,02764	0,02471	85,51%	0,15720	0,42%	1,27%	2,38	2,45
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,02764	0,02839	0,02688	93,01%	0,16395	0,46%	1,38%	2,38	2,45
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,02839	0,02878	0,02801	96,92%	0,16736	0,48%	1,44%	2,38	2,45

Condutividade – Variância total = $\sigma^2 = 0,00$ e Média = $\mu = 0,60$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,00%	0,60	0,60
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,00%	0,60	0,60
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,00%	0,60	0,60
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,00%	0,60	0,60
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,00%	0,60	0,60
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,00%	0,60	0,60
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,00%	0,60	0,60
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,00%	0,60	0,60
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,00%	0,60	0,60
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,00%	0,60	0,60
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,00%	0,60	0,60
Fluoreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,0113$ e Média = $\mu = 0,17$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00123	0,00133	0,00113	9,98%	0,03359	3,90%	11,71%	0,15	0,19
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00133	0,00153	0,00113	10,00%	0,03362	3,91%	11,73%	0,15	0,19
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00153	0,00193	0,00113	10,01%	0,03363	3,91%	11,74%	0,15	0,19
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00193	0,00272	0,00114	10,09%	0,03376	3,94%	11,83%	0,15	0,19
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00272	0,00421	0,00122	10,83%	0,03499	4,24%	12,71%	0,15	0,19
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,00421	0,00653	0,00189	16,73%	0,04347	6,54%	19,62%	0,14	0,20
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,00653	0,00860	0,00447	39,58%	0,06688	15,48%	46,43%	0,09	0,25
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,00860	0,00990	0,00729	64,55%	0,08540	25,24%	75,72%	0,04	0,30
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,00990	0,01061	0,00918	81,23%	0,09581	31,76%	95,28%	0,01	0,33
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,01061	0,01099	0,01024	90,59%	0,10118	35,42%	106,27%	-0,01	0,35
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,01099	0,01118	0,01080	95,53%	0,10390	37,35%	112,06%	-0,02	0,36
Magnésio – Variância total = $\sigma^2 = 0,144$ e Média = $\mu = 3,62$											

$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,01566	0,01694	0,01439	9,99%	0,11994	0,11%	0,33%	3,61	3,63
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,01694	0,01950	0,01439	9,99%	0,11994	0,11%	0,33%	3,61	3,63
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,01950	0,02459	0,01441	10,00%	0,12003	0,11%	0,33%	3,61	3,63
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,02459	0,03464	0,01454	10,10%	0,12059	0,11%	0,33%	3,61	3,63
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,03464	0,05368	0,01560	10,83%	0,12490	0,12%	0,36%	3,60	3,63
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,05368	0,08318	0,02418	16,79%	0,15551	0,18%	0,55%	3,60	3,64
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,08318	0,10906	0,05729	39,78%	0,23935	0,44%	1,31%	3,57	3,67
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,10906	0,12479	0,09334	64,82%	0,30551	0,71%	2,14%	3,54	3,69
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,12479	0,13335	0,11623	80,72%	0,34093	0,89%	2,66%	3,52	3,71
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,13335	0,13777	0,12893	89,53%	0,35907	0,99%	2,96%	3,51	3,72
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,13777	0,14004	0,13550	94,10%	0,36810	1,04%	3,11%	3,51	3,73
pH – Variância total = $\sigma^2 = 0,116$ e Média = $\mu = 6,775$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,01184	0,01270	0,01099	9,47%	0,10483	0,02%	0,07%	6,77	0,01184
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,01270	0,01440	0,01099	9,48%	0,10484	0,02%	0,07%	6,77	0,01270
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,01440	0,01781	0,01100	9,48%	0,10486	0,02%	0,07%	6,77	0,01440
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,01781	0,02455	0,01106	9,54%	0,10517	0,02%	0,07%	6,77	0,01781
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,02455	0,03755	0,01155	9,96%	0,10747	0,03%	0,08%	6,77	0,02455
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,03755	0,05968	0,01542	13,30%	0,12419	0,03%	0,10%	6,77	0,03755
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,05968	0,08316	0,03621	31,21%	0,19028	0,08%	0,24%	6,76	0,05968
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,08316	0,09869	0,06762	58,30%	0,26004	0,15%	0,44%	6,75	0,08316
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,09869	0,10741	0,08997	77,56%	0,29994	0,20%	0,59%	6,74	0,09869
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,10741	0,11200	0,10282	88,64%	0,32065	0,22%	0,67%	6,73	0,10741
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,11200	0,11436	0,10964	94,52%	0,33112	0,24%	0,72%	6,73	0,11200
Sódio – Variância total = $\sigma^2 = 1,83$ e Média = $\mu = 7,425$											

$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{Y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{Y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,19426	0,20560	0,18292	10,00%	0,42769	0,33%	1,00%	7,35	7,50
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,20560	0,22831	0,18289	9,99%	0,42766	0,33%	1,00%	7,35	7,50
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,22831	0,27369	0,18293	10,00%	0,42771	0,33%	1,00%	7,35	7,50
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,27369	0,36389	0,18350	10,03%	0,42836	0,33%	1,00%	7,35	7,50
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,36389	0,53962	0,18815	10,28%	0,43376	0,34%	1,02%	7,35	7,50
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,53962	0,85378	0,22545	12,32%	0,47482	0,41%	1,23%	7,33	7,52
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,85378	1,23854	0,46903	25,63%	0,68486	0,85%	2,55%	7,24	7,61
(128,0,0)	(256,0,0)	256	1,23854	1,51300	0,96408	52,68%	0,98188	1,75%	5,25%	7,04	7,81
(256,0,0)	(512,0,0)	512	1,51300	1,67177	1,35424	74,00%	1,16372	2,46%	7,37%	6,88	7,97
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	1,67177	1,75684	1,58669	86,70%	1,25964	2,88%	8,63%	6,78	8,07
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	1,75684	1,80075	1,71294	93,60%	1,30879	3,11%	9,32%	6,73	8,12

D.6 Fonte Verônica

Alcalinidade bicarbonato – Variância total = $\sigma^2 = 0,152$ e Média = $\mu = 11,82$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,02719	0,03897	0,01541	10,14%	0,1241	0,01%	0,03%	11,81	11,82
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,03897	0,06097	0,01697	11,17%	0,1303	0,01%	0,04%	11,81	11,82
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,06097	0,09274	0,02919	19,20%	0,1709	0,02%	0,06%	11,81	11,82
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,09274	0,11833	0,06714	44,17%	0,2591	0,05%	0,14%	11,80	11,83
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,11833	0,13355	0,10312	67,84%	0,3211	0,07%	0,22%	11,79	11,84
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,13355	0,14208	0,12502	82,25%	0,3536	0,09%	0,27%	11,78	11,85
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,14208	0,14654	0,13763	90,55%	0,3710	0,10%	0,30%	11,78	11,85
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,14654	0,14881	0,14427	94,91%	0,3798	0,10%	0,31%	11,78	11,85
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,14881	0,14995	0,14767	97,15%	0,3843	0,11%	0,32%	11,78	11,85
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,14995	0,15052	0,14937	98,27%	0,3865	0,11%	0,32%	11,78	11,85
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,15052	0,15080	0,15024	98,84%	0,3876	0,11%	0,32%	11,78	11,85
Alcalinidade carbonato– Variância total = $\sigma^2 = 0,384$ e Média = $\mu = 10,92$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,06044	0,08231	0,03858	10,05%	0,1964	0,03%	0,10%	10,90	10,93
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,08231	0,12452	0,04009	10,44%	0,2002	0,03%	0,10%	10,90	10,93
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,12452	0,19678	0,05226	13,61%	0,2286	0,04%	0,13%	10,90	10,93
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,19678	0,27442	0,11914	31,03%	0,3452	0,10%	0,30%	10,88	10,95
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,27442	0,32487	0,22398	58,33%	0,4733	0,19%	0,56%	10,85	10,98
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,32487	0,35309	0,29664	77,25%	0,5446	0,25%	0,75%	10,83	11,00
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,35309	0,36784	0,33834	88,11%	0,5817	0,28%	0,85%	10,82	11,01
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,36784	0,37540	0,36028	93,82%	0,6002	0,30%	0,91%	10,82	11,01
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,37540	0,37917	0,37162	96,78%	0,6096	0,31%	0,94%	10,81	11,02

(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,37917	0,38109	0,37725	98,24%	0,6142	0,32%	0,95%	10,81	11,02
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,38109	0,38205	0,38014	98,99%	0,6166	0,32%	0,96%	10,81	11,02
Cálcio – Variância total = $\sigma^2 = 0,022$ e Média = $\mu = 6,52$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00320	0,00414	0,00225	10,02%	0,0475	0,01%	0,02%	6,52	6,52
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00414	0,00600	0,00229	10,16%	0,0478	0,01%	0,02%	6,52	6,52
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00600	0,00942	0,00257	11,42%	0,0507	0,01%	0,02%	6,52	6,52
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00942	0,01418	0,00467	20,74%	0,0683	0,01%	0,03%	6,52	6,52
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,01418	0,01792	0,01044	46,40%	0,1022	0,02%	0,07%	6,51	6,52
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,01792	0,02019	0,01566	69,60%	0,1251	0,04%	0,11%	6,51	6,53
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,02019	0,02142	0,01896	84,25%	0,1377	0,04%	0,13%	6,51	6,53
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,02142	0,02207	0,02078	92,34%	0,1441	0,05%	0,15%	6,51	6,53
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,02207	0,02239	0,02174	96,61%	0,1474	0,05%	0,15%	6,51	6,53
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,02239	0,02256	0,02223	98,79%	0,1491	0,05%	0,16%	6,51	6,53
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,02256	0,02264	0,02248	99,90%	0,1499	0,05%	0,16%	6,51	6,53
Cloreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,29$ e Média = $\mu = 2,98$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,03830	0,04659	0,03000	10,34%	0,1732	0,34%	1,01%	2,95	3,01
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,04659	0,06304	0,03015	10,40%	0,1736	0,34%	1,02%	2,95	3,01
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,06304	0,09479	0,03128	10,79%	0,1769	0,35%	1,06%	2,95	3,01
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,09479	0,14912	0,04047	13,95%	0,2012	0,46%	1,37%	2,94	3,02
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,14912	0,20787	0,09037	31,16%	0,3006	1,02%	3,05%	2,89	3,07
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,20787	0,24707	0,16868	58,16%	0,4107	1,90%	5,70%	2,81	3,15
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,24707	0,28500	0,20914	72,12%	0,4573	2,36%	7,07%	2,77	3,19
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,28500	0,28700	0,28300	97,59%	0,5320	3,19%	9,56%	2,70	3,26
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,28700	0,28810	0,28590	98,59%	0,5347	3,22%	9,66%	2,69	3,27
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,28810	0,28900	0,28720	99,03%	0,5359	3,23%	9,70%	2,69	3,27

(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,28900	0,29000	0,28800	99,31%	0,5367	3,24%	9,73%	2,69	3,27
Condutividade – Variância total = $\sigma^2 = 0,0019$ e Média = $\mu = 0,62$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00023	0,00027	0,000189	9,95%	0,0137	0,05%	0,15%	0,62	0,62
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00027	0,00036	0,000191	10,05%	0,0138	0,05%	0,15%	0,62	0,62
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00036	0,00052	0,000193	10,16%	0,0139	0,05%	0,15%	0,62	0,62
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00052	0,00081	0,000220	11,58%	0,0148	0,06%	0,17%	0,62	0,62
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00081	0,00122	0,000410	21,58%	0,0202	0,11%	0,32%	0,62	0,62
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,00122	0,00153	0,000906	47,68%	0,0301	0,24%	0,71%	0,61	0,62
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,00153	0,00172	0,001344	70,74%	0,0367	0,35%	1,06%	0,61	0,62
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,00172	0,00182	0,001616	85,05%	0,0402	0,42%	1,27%	0,61	0,63
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,00182	0,00187	0,001764	92,84%	0,0420	0,46%	1,39%	0,61	0,63
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,00187	0,00190	0,001841	96,89%	0,0429	0,48%	1,45%	0,61	0,63
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,00190	0,00191	0,001882	99,05%	0,0434	0,49%	1,48%	0,61	0,63
Fluoreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,00326$ e Média = $\mu = 0,137$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00043	0,00056	0,00030	9,23%	0,01735	1,60%	4,80%	0,13	0,14
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00056	0,00081	0,00030	9,33%	0,01744	1,62%	4,85%	0,13	0,14
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00081	0,00129	0,00034	10,37%	0,01838	1,80%	5,39%	0,13	0,14
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00129	0,00198	0,00060	18,28%	0,02441	3,17%	9,51%	0,12	0,15
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00198	0,00254	0,00143	43,80%	0,03779	7,60%	22,79%	0,11	0,17
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,00254	0,00305	0,00203	62,27%	0,04506	10,80%	32,40%	0,09	0,18
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,00305	0,00314	0,00296	90,74%	0,05439	15,74%	47,21%	0,07	0,20
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,00314	0,00319	0,00310	94,97%	0,05564	16,47%	49,41%	0,07	0,20
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,00319	0,00321	0,00316	97,06%	0,05625	16,83%	50,50%	0,07	0,21
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,00321	0,00322	0,00320	98,19%	0,05658	17,03%	51,09%	0,07	0,21
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,00322	0,00323	0,00322	98,65%	0,05671	17,11%	51,33%	0,07	0,21

Magnésio – Variância total = $\sigma^2 = 0,0175$ e Média = $\mu = 3,36$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00267	0,00359	0,00176	10,03%	0,0419	0,02%	0,05%	3,36	3,36
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00359	0,00536	0,00181	10,34%	0,0425	0,02%	0,05%	3,36	3,36
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00536	0,00849	0,00224	12,78%	0,0473	0,02%	0,06%	3,36	3,36
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00849	0,01212	0,00487	27,81%	0,0698	0,04%	0,13%	3,36	3,36
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,01212	0,01461	0,00962	54,97%	0,0981	0,09%	0,26%	3,35	3,37
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,01461	0,01603	0,01320	75,41%	0,1149	0,12%	0,35%	3,35	3,37
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,01603	0,01679	0,01528	87,30%	0,1236	0,14%	0,41%	3,35	3,37
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,01679	0,01717	0,01640	93,71%	0,1281	0,15%	0,44%	3,35	3,37
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,01717	0,01737	0,01698	97,02%	0,1303	0,15%	0,45%	3,34	3,38
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,01737	0,01747	0,01727	98,68%	0,1314	0,15%	0,46%	3,34	3,38
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,01747	0,01752	0,01742	99,53%	0,1320	0,15%	0,46%	3,34	3,38
pH – Variância total = $\sigma^2 = 0,13$ e Média = $\mu = 6,46$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,02676	0,04272	0,01079	8,30%	0,10388	0,03%	0,08%	6,45	6,46
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,04270	0,06902	0,01638	12,60%	0,12797	0,04%	0,12%	6,45	6,46
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,06902	0,09510	0,04295	33,04%	0,20724	0,10%	0,31%	6,44	6,46
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,09510	0,11179	0,07840	60,31%	0,28001	0,19%	0,56%	6,42	6,46
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,11179	0,12116	0,10242	78,79%	0,32004	0,25%	0,74%	6,41	6,46
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,12116	0,12610	0,11623	89,41%	0,34092	0,28%	0,84%	6,41	6,46
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,12610	0,12863	0,12357	95,05%	0,35152	0,30%	0,89%	6,40	6,46
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,12863	0,12992	0,12735	97,96%	0,35686	0,31%	0,92%	6,40	6,46
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,12992	0,13056	0,12927	99,44%	0,35955	0,31%	0,93%	6,40	6,46
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,13056	0,13087	0,13025	100,19%	0,36089	0,31%	0,94%	6,40	6,46
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,13087	0,130102	0,13164	101,26%	0,36282	0,32%	0,95%	6,40	6,46
Sódio – Variância total = $\sigma^2 = 0,205$ e Média = $\mu = 7,02$											

$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{Y}\left(\frac{t}{T}\right)$	$\bar{Y}\left(\frac{T}{t}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,02381	0,02764	0,01999	9,75%	0,14138	0,04%	0,12%	7,01	7,03
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,02764	0,03526	0,02001	9,76%	0,14146	0,04%	0,12%	7,01	7,03
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,03526	0,05030	0,02023	9,87%	0,14222	0,04%	0,12%	7,01	7,03
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,05030	0,07860	0,02199	10,73%	0,14828	0,04%	0,13%	7,01	7,03
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,07860	0,12131	0,03590	17,51%	0,18947	0,07%	0,22%	7,00	7,04
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,12131	0,15736	0,08526	41,59%	0,29199	0,17%	0,52%	6,98	7,06
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,15736	0,17916	0,13557	66,13%	0,36819	0,28%	0,83%	6,96	7,08
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,17916	0,19098	0,16734	81,63%	0,40907	0,34%	1,02%	6,95	7,09
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,19098	0,19712	0,18483	90,16%	0,42992	0,38%	1,13%	6,94	7,10
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,19712	0,20026	0,19399	94,63%	0,44044	0,39%	1,18%	6,94	7,10
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,20026	0,20184	0,19867	96,91%	0,44573	0,40%	1,21%	6,94	7,10

D.7 Fonte Água Santa

Alcalinidade – Variância total = $\sigma^2 = 62,78$ e Média = $\mu = 22,97$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{Y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	7,76850	9,25892	6,27808	10,00%	2,5056	1,19%	3,57%	22,15	28,06
(2,0,0)	(4,0,0)	4	9,25892	12,22470	6,29313	10,02%	2,5086	1,19%	3,58%	22,15	28,06
(4,0,0)	(8,0,0)	8	12,22470	18,01697	6,43243	10,25%	2,5362	1,22%	3,66%	22,13	28,06
(8,0,0)	(16,0,0)	16	18,01697	28,47592	7,55802	12,04%	2,7492	1,43%	4,30%	21,99	28,02
(16,0,0)	(32,0,0)	32	28,47592	41,74910	15,20274	24,22%	3,8991	2,88%	8,64%	20,99	27,79
(32,0,0)	(64,0,0)	64	41,74910	51,38984	32,10836	51,14%	5,6664	6,08%	18,25%	18,78	27,29
(64,0,0)	(128,0,0)	128	51,38984	57,00124	45,77844	72,92%	6,7660	8,67%	26,02%	17,00	26,88
(128,0,0)	(256,0,0)	256	57,00124	60,02011	53,98237	85,99%	7,3473	10,23%	30,69%	15,92	26,63
(256,0,0)	(512,0,0)	512	60,02011	61,58123	58,45899	93,12%	7,6458	11,08%	33,23%	15,34	26,50
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	61,58123	62,37147	60,79099	96,83%	7,7969	11,52%	34,56%	15,03	26,43
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	62,37147	62,77085	61,97209	98,71%	7,8722	11,74%	35,23%	14,88	26,39
Cálcio – Variância total = $\sigma^2 = 2,715$ e Média = $\mu = 15,15$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{Y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,28043	0,29000	0,27087	9,97%	0,5205	0,12%	0,35%	15,09	17,43
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,29000	0,30928	0,27071	9,97%	0,5203	0,12%	0,35%	15,09	17,43
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,30928	0,37462	0,24394	8,98%	0,4939	0,11%	0,32%	15,10	17,43
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,37462	0,42423	0,32500	11,97%	0,5701	0,14%	0,42%	15,08	17,43
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,42423	0,57628	0,27218	10,02%	0,5217	0,12%	0,36%	15,09	17,43
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,57628	0,87018	0,28239	10,40%	0,5314	0,12%	0,37%	15,09	17,43
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,87018	1,37608	0,36427	13,41%	0,6035	0,16%	0,48%	15,07	17,43
(128,0,0)	(256,0,0)	256	1,37608	1,92791	0,82425	30,35%	0,9079	0,36%	1,08%	14,98	17,42
(256,0,0)	(512,0,0)	512	1,92791	2,29675	1,55907	57,41%	1,2486	0,68%	2,04%	14,84	17,39

(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	2,29675	2,50542	2,08809	76,89%	1,4450	0,91%	2,73%	14,73	17,38
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	2,50542	2,61586	2,39497	88,20%	1,5476	1,04%	3,13%	14,67	17,37
Cloreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,00073$ e Média = $\mu = 0,18$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,000093	0,000113	0,00007	10,00%	0,0085	0,23%	0,69%	0,18	0,18
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,000113	0,000153	0,00007	10,00%	0,0085	0,23%	0,69%	0,18	0,18
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,000153	0,000230	0,00008	10,41%	0,0087	0,24%	0,72%	0,18	0,18
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,000230	0,000364	0,00010	13,15%	0,0098	0,30%	0,91%	0,18	0,18
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,000364	0,000512	0,00022	29,59%	0,0147	0,68%	2,05%	0,17	0,18
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,000512	0,000613	0,00041	56,30%	0,0203	1,30%	3,89%	0,17	0,18
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,000613	0,000670	0,00056	76,16%	0,0236	1,75%	5,26%	0,17	0,18
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,000670	0,000700	0,00064	87,67%	0,0253	2,02%	6,06%	0,17	0,18
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,000700	0,000715	0,00069	93,84%	0,0262	2,16%	6,49%	0,17	0,18
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,000715	0,000723	0,00071	96,85%	0,0266	2,23%	6,69%	0,17	0,18
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,000723	0,000727	0,00072	98,49%	0,0268	2,27%	6,81%	0,17	0,18
Condutividade – Variância total = $\sigma^2 = 82,00$ e Média = $\mu = 129,21$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	8,62315	9,04834	8,19795	10,00%	2,8632	0,05%	0,15%	129,02	295,91
(2,0,0)	(4,0,0)	4	9,04834	9,90054	8,19615	10,00%	2,8629	0,05%	0,15%	129,02	295,91
(4,0,0)	(8,0,0)	8	9,90054	11,60486	8,19622	10,00%	2,8629	0,05%	0,15%	129,02	295,91
(8,0,0)	(16,0,0)	16	11,60486	15,00169	8,20803	10,01%	2,8650	0,05%	0,15%	129,02	295,91
(16,0,0)	(32,0,0)	32	15,00169	21,66956	8,33382	10,16%	2,8868	0,05%	0,15%	129,01	295,90
(32,0,0)	(64,0,0)	64	21,66956	34,02428	9,31484	11,36%	3,0520	0,06%	0,17%	128,99	295,87
(64,0,0)	(128,0,0)	128	34,02428	51,22214	16,82642	20,52%	4,1020	0,10%	0,30%	128,82	295,65
(128,0,0)	(256,0,0)	256	51,22214	64,53887	37,90541	46,23%	6,1567	0,23%	0,68%	128,33	295,01
(256,0,0)	(512,0,0)	512	64,53887	72,31058	56,76716	69,23%	7,5344	0,34%	1,02%	127,89	294,45
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	72,31058	76,46955	68,15161	83,11%	8,2554	0,41%	1,22%	127,62	294,11

(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	76,46955	78,62172	74,31738	90,63%	8,6208	0,45%	1,34%	127,48	293,92
Fluoreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,0043$ e Média = $\mu = 0,159$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{\gamma}\left(\frac{t}{T}\right)$	$\bar{\gamma}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00033	0,00036	0,00039	8,98%	0,01965	1,53%	4,60%	0,15	0,17
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00036	0,00041	0,00047	10,95%	0,02170	1,87%	5,62%	0,15	0,17
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00041	0,00053	0,00064	14,88%	0,02530	2,54%	7,63%	0,15	0,17
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00053	0,00075	0,00098	22,77%	0,03129	3,89%	11,68%	0,14	0,18
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00075	0,00119	0,00163	37,93%	0,04039	6,48%	19,45%	0,13	0,19
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,00119	0,00190	0,00261	60,65%	0,05107	10,37%	31,10%	0,11	0,21
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,00190	0,00280	0,00370	86,05%	0,06083	14,71%	44,13%	0,09	0,23
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,00280	0,00350	0,00420	97,67%	0,06481	16,70%	50,09%	0,08	0,24
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,00350	0,00390	0,00430	100,00%	0,06557	17,09%	51,28%	0,08	0,24
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,00390	0,00410	0,00430	100,00%	0,06557	17,09%	51,28%	0,08	0,24
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,00410	0,00420	0,00430	100,00%	0,06557	17,09%	51,28%	0,08	0,24
Magnésio – Variância total = $\sigma^2 = 0,188$ e Média = $\mu = 9,54$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{\gamma}\left(\frac{t}{T}\right)$	$\bar{\gamma}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,02088	0,02296	0,02505	13,32%	0,15826	0,03%	0,08%	9,53	9,55
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,02296	0,02713	0,03130	16,65%	0,17692	0,03%	0,10%	9,53	9,55
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,02713	0,03543	0,04372	23,26%	0,20910	0,05%	0,14%	9,53	9,55
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,03543	0,05168	0,06794	36,14%	0,26065	0,07%	0,22%	9,52	9,56
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,05168	0,08145	0,11122	59,16%	0,33350	0,12%	0,37%	9,51	9,58
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,08145	0,12120	0,16095	85,61%	0,40119	0,18%	0,53%	9,49	9,59
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,12120	0,15107	0,18094	96,24%	0,42537	0,20%	0,60%	9,48	9,60
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,15107	0,16848	0,18589	98,88%	0,43115	0,20%	0,61%	9,48	9,60
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,16848	0,17779	0,18711	99,52%	0,43256	0,21%	0,62%	9,48	9,60
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,17779	0,18263	0,18746	99,71%	0,43297	0,21%	0,62%	9,48	9,60
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,18263	0,18507	0,18752	99,75%	0,43304	0,21%	0,62%	9,48	9,60

pH – Variância total = $\sigma^2 = 0,240$ e Média = $\mu = 7,29$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,02410	0,02821	0,0323	13,46%	0,1798	0,06%	0,18%	7,28	7,30
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,02821	0,03640	0,0446	18,58%	0,2112	0,08%	0,25%	7,27	7,31
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,03640	0,05255	0,0687	28,62%	0,2621	0,13%	0,39%	7,26	7,32
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,05255	0,08297	0,1134	47,25%	0,3368	0,21%	0,64%	7,24	7,34
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,08297	0,12911	0,1752	73,02%	0,4186	0,33%	0,99%	7,22	7,36
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,12911	0,16848	0,2079	86,61%	0,4559	0,39%	1,17%	7,20	7,38
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,16848	0,19233	0,2162	90,07%	0,4650	0,41%	1,22%	7,20	7,38
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,19233	0,20530	0,2183	90,94%	0,4672	0,41%	1,23%	7,20	7,38
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,20530	0,21206	0,2188	91,17%	0,4678	0,41%	1,24%	7,20	7,38
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,21206	0,21723	0,2224	92,67%	0,4716	0,42%	1,26%	7,20	7,38
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,21723	0,21700	0,2168	90,32%	0,4656	0,41%	1,22%	7,20	7,38
Sódio – Variância total = $\sigma^2 = 2,550$ e Média = $\mu = 12,795$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00409	0,00418	0,00400	10,54%	0,06328	0,29%	0,88%	1,16	1,18
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00418	0,00437	0,00400	10,53%	0,06325	0,29%	0,88%	1,16	1,18
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00437	0,00474	0,00400	10,52%	0,06323	0,29%	0,88%	1,16	1,18
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00474	0,00548	0,00400	10,52%	0,06321	0,29%	0,88%	1,16	1,18
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00548	0,00695	0,00400	10,53%	0,06326	0,29%	0,88%	1,16	1,18
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,00695	0,00985	0,00405	10,66%	0,06365	0,30%	0,89%	1,16	1,18
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,00985	0,01527	0,00442	11,64%	0,06651	0,32%	0,97%	1,16	1,18
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,01527	0,02316	0,00739	19,44%	0,08595	0,54%	1,62%	1,15	1,19
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,02316	0,02956	0,01676	44,10%	0,12946	1,22%	3,67%	1,13	1,21
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,02956	0,03338	0,02575	67,75%	0,16046	1,88%	5,64%	1,10	1,24
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,03338	0,03552	0,03123	82,19%	0,17673	2,28%	6,84%	1,09	1,25

D.8 Fonte Ycuara

Alcalinidade – Variância total = $\sigma^2 = 0,724$ e Média = $\mu = 21,21$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,08550	0,09864	0,07236	9,99%	0,26900	0,02%	0,05%	21,20	21,22
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,09864	0,12485	0,07243	10,00%	0,26913	0,02%	0,05%	21,20	21,22
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,12485	0,17655	0,07315	10,10%	0,27047	0,02%	0,05%	21,20	21,22
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,17655	0,27416	0,07895	10,90%	0,28098	0,02%	0,05%	21,20	21,22
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,27416	0,42380	0,12453	17,20%	0,35288	0,03%	0,08%	21,20	21,23
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,42380	0,55400	0,29359	40,55%	0,54184	0,07%	0,20%	21,17	21,25
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,55400	0,63565	0,47235	65,24%	0,68727	0,10%	0,31%	21,15	21,28
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,63565	0,68050	0,59080	81,60%	0,76864	0,13%	0,39%	21,13	21,30
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,68050	0,70407	0,65693	90,74%	0,81051	0,15%	0,44%	21,12	21,31
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,70407	0,71612	0,69203	95,58%	0,83188	0,15%	0,46%	21,12	21,31
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,71612	0,72216	0,71007	98,08%	0,84265	0,16%	0,47%	21,11	21,31
Cálcio – Variância total = $\sigma^2 = 0,0076$ e Média = $\mu = 3,68$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,008403	0,009205	0,00760	100,01%	0,08718	0,06%	0,17%	3,67	3,69
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,009205	0,010812	0,00760	99,97%	0,08717	0,06%	0,17%	3,67	3,69
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,010812	0,014013	0,00761	100,14%	0,08724	0,06%	0,17%	3,67	3,69
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,014013	0,020296	0,00773	101,71%	0,08792	0,06%	0,17%	3,67	3,69
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,020296	0,031902	0,00869	114,34%	0,09322	0,06%	0,19%	3,67	3,69
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,031902	0,047860	0,01594	209,79%	0,12627	0,12%	0,35%	3,67	3,69
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,047860	0,060124	0,03560	468,37%	0,18867	0,26%	0,79%	3,65	3,71
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,060124	0,067337	0,05291	696,20%	0,23002	0,39%	1,17%	3,64	3,72
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,067337	0,071339	0,06334	833,36%	0,25166	0,47%	1,40%	3,63	3,73
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,071339	0,073417	0,06926	911,33%	0,26317	0,51%	1,53%	3,62	3,74

(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,073417	0,07447	0,07236	952,12%	0,26900	0,53%	1,60%	3,62	3,74
Cloreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,156$ e Média = $\mu = 1,83$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,01664	0,01726	0,01601	10,26%	0,12652	0,48%	1,43%	1,80	1,83
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,01726	0,01852	0,01600	10,26%	0,12649	0,48%	1,43%	1,80	1,83
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,01852	0,02106	0,01599	10,25%	0,12644	0,48%	1,43%	1,80	1,83
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,02106	0,02612	0,01600	10,26%	0,12649	0,48%	1,43%	1,80	1,83
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,02612	0,03613	0,01611	10,33%	0,12694	0,48%	1,44%	1,80	1,83
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,03613	0,05525	0,01701	10,90%	0,13042	0,51%	1,52%	1,80	1,83
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,05525	0,08635	0,02414	15,48%	0,15538	0,72%	2,16%	1,79	1,83
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,08635	0,11607	0,05663	36,30%	0,23797	1,69%	5,07%	1,74	1,83
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,11607	0,13485	0,09728	62,36%	0,31190	2,90%	8,71%	1,67	1,83
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,13485	0,14522	0,12449	79,80%	0,35283	3,72%	11,15%	1,63	1,83
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,14522	0,15065	0,13978	89,60%	0,37388	4,17%	12,52%	1,60	1,83
Condutividade – Variância total = $\sigma^2 = 92,33$ e Média = $\mu = 149,16$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	10,02493	10,83056	9,21930	9,99%	3,03633	0,04%	0,12%	148,97	149,35
(2,0,0)	(4,0,0)	4	10,83056	12,43230	9,22882	10,00%	3,03790	0,04%	0,12%	148,97	149,35
(4,0,0)	(8,0,0)	8	12,43230	15,63229	9,23231	10,00%	3,03847	0,04%	0,12%	148,97	149,35
(8,0,0)	(16,0,0)	16	15,63229	21,94973	9,31485	10,09%	3,05202	0,04%	0,13%	148,97	149,35
(16,0,0)	(32,0,0)	32	21,94973	33,93682	9,96264	10,79%	3,15636	0,04%	0,13%	148,96	149,36
(32,0,0)	(64,0,0)	64	33,93682	52,79646	15,07718	16,33%	3,88293	0,07%	0,20%	148,86	149,46
(64,0,0)	(128,0,0)	128	52,79646	69,83849	35,75443	38,72%	5,97950	0,16%	0,48%	148,44	149,88
(128,0,0)	(256,0,0)	256	69,83849	80,69710	58,97988	63,88%	7,67984	0,27%	0,80%	147,97	150,35
(256,0,0)	(512,0,0)	512	80,69710	86,68675	74,70745	80,91%	8,64335	0,34%	1,01%	147,66	150,66
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	86,68675	89,84680	83,52670	90,47%	9,13929	0,38%	1,13%	147,48	150,84
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	89,84680	91,47254	88,22106	95,55%	9,39261	0,40%	1,19%	147,39	150,93

Fluoreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,021$ e Média = $\mu = 0,96$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00235	0,00270	0,00200	9,52%	0,04471	0,22%	0,65%	0,95	0,97
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00270	0,00340	0,00200	9,52%	0,04472	0,22%	0,65%	0,95	0,97
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00340	0,00479	0,00202	9,60%	0,04490	0,22%	0,66%	0,95	0,97
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00479	0,00743	0,00215	10,22%	0,04632	0,23%	0,70%	0,95	0,97
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00743	0,01168	0,00318	15,14%	0,05639	0,35%	1,04%	0,95	0,97
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,01168	0,01574	0,00762	36,30%	0,08730	0,83%	2,48%	0,94	0,98
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,01574	0,01832	0,01315	62,63%	0,11469	1,43%	4,28%	0,92	1,00
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,01832	0,01976	0,01688	80,40%	0,12994	1,83%	5,50%	0,91	1,01
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,01976	0,02052	0,01901	90,51%	0,13787	2,06%	6,19%	0,90	1,02
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,02052	0,02090	0,02013	95,86%	0,14188	2,18%	6,55%	0,90	1,02
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,02090	0,02110	0,02071	98,62%	0,14391	2,25%	6,74%	0,90	1,02
Magnésio – Variância total = $\sigma^2 = 0,048$ e Média = $\mu = 1,392$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00527	0,00575	0,00479	9,99%	0,06924	0,25%	0,74%	1,38	1,40
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00575	0,00671	0,00480	9,99%	0,06925	0,25%	0,74%	1,38	1,40
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00671	0,00862	0,00480	10,01%	0,06931	0,25%	0,74%	1,38	1,40
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00862	0,01238	0,00487	10,14%	0,06977	0,25%	0,75%	1,38	1,40
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,01238	0,01938	0,00537	11,20%	0,07331	0,28%	0,83%	1,38	1,40
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,01938	0,02952	0,00923	19,24%	0,09609	0,48%	1,43%	1,37	1,41
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,02952	0,03771	0,02134	44,45%	0,14608	1,10%	3,30%	1,35	1,44
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,03771	0,04256	0,03285	68,44%	0,18125	1,69%	5,08%	1,32	1,46
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,04256	0,04517	0,03995	83,24%	0,19988	2,06%	6,18%	1,31	1,48
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,04517	0,04651	0,04383	91,31%	0,20935	2,26%	6,78%	1,30	1,49
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,04651	0,04719	0,04583	95,48%	0,21408	2,36%	7,09%	1,29	1,49
pH – Variância total = $\sigma^2 = 0,116$ e Média = $\mu = 7,27$											

$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{-}{t}\right)$	$\bar{Y}\left(\frac{-}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,01353	0,01507	0,01199	10,34%	0,10951	0,02%	0,07%	7,27	7,27
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,01507	0,01814	0,01200	10,34%	0,10953	0,02%	0,07%	7,27	7,27
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,01814	0,02424	0,01204	10,38%	0,10971	0,02%	0,07%	7,27	7,27
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,02424	0,03608	0,01240	10,69%	0,11137	0,02%	0,07%	7,26	7,28
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,03608	0,05685	0,01531	13,20%	0,12374	0,03%	0,09%	7,26	7,28
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,05685	0,08078	0,03293	28,38%	0,18146	0,06%	0,19%	7,26	7,28
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,08078	0,09727	0,06429	55,42%	0,25356	0,12%	0,36%	7,24	7,30
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,09727	0,10664	0,08790	75,78%	0,29648	0,17%	0,50%	7,23	7,31
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,10664	0,11606	0,09722	83,81%	0,31181	0,18%	0,55%	7,23	7,31
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,11606	0,11417	0,11796	101,69%	0,34345	0,22%	0,67%	7,22	7,32
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,11417	0,11545	0,11288	97,31%	0,33598	0,21%	0,64%	7,22	7,32
Sódio – Variância total = $\sigma^2 = 11,13$ e Média = $\mu = 31,88$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{-}{t}\right)$	$\bar{Y}\left(\frac{-}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	1,18693	1,24774	1,126	11,39%	1,06119	0,11%	0,33%	31,77	31,99
(2,0,0)	(4,0,0)	4	1,24774	1,36734	1,128	11,41%	1,06214	0,11%	0,33%	31,77	31,99
(4,0,0)	(8,0,0)	8	1,36794	1,60750	1,128	11,41%	1,06225	0,11%	0,33%	31,77	31,99
(8,0,0)	(16,0,0)	16	1,60750	2,08376	1,131	11,44%	1,06360	0,11%	0,33%	31,77	31,99
(16,0,0)	(32,0,0)	32	2,08376	3,01569	1,152	11,65%	1,07323	0,11%	0,34%	31,77	31,99
(32,0,0)	(64,0,0)	64	3,01569	4,71384	1,318	13,32%	1,14784	0,13%	0,39%	31,76	32,00
(64,0,0)	(128,0,0)	128	4,71384	7,00423	2,423	24,51%	1,55674	0,24%	0,72%	31,65	32,11
(128,0,0)	(256,0,0)	256	7,00423	8,81464	5,194	52,53%	2,27900	0,51%	1,53%	31,39	32,37
(256,0,0)	(512,0,0)	512	8,81464	9,88815	7,741	78,29%	2,78229	0,76%	2,29%	31,15	32,61
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	9,88815	10,46654	9,310	94,15%	3,05119	0,92%	2,75%	31,00	32,76
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	10,46541	10,76432	10,167	102,81%	3,18849	1,00%	3,00%	30,92	32,84

D.9 Fonte Maestro

Bactérias Heterotróficas Variância total = $\sigma^2 = 32932,9$ e Média = $\mu = 154,3$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	9801,20	3046,51	9,25%	55,20	12,80%	38,39%	95,07	213,53	9801,20
(2,0,0)	(4,0,0)	4	15746,68	3855,72	11,71%	62,09	16,19%	48,58%	79,33	229,27	15746,68
(4,0,0)	(8,0,0)	8	22609,69	8883,67	26,98%	94,25	37,31%	111,94%	-18,42	327,02	22609,69
(8,0,0)	(16,0,0)	16	27287,82	17931,56	54,45%	133,91	75,32%	225,95%	-194,34	502,94	27287,82
(16,0,0)	(32,0,0)	32	29938,30	24637,34	74,81%	156,96	103,48%	310,44%	-324,72	633,32	29938,30
(32,0,0)	(64,0,0)	64	31338,06	28538,54	86,66%	168,93	119,87%	359,60%	-400,56	709,16	31338,06
(64,0,0)	(128,0,0)	128	32060,75	30615,37	92,96%	174,97	128,59%	385,77%	-440,94	749,54	32060,75
(128,0,0)	(256,0,0)	256	32426,36	31695,14	96,24%	178,03	133,13%	399,38%	-461,94	770,54	32426,36
(256,0,0)	(512,0,0)	512	32610,02	32242,70	97,90%	179,56	135,43%	406,28%	-472,58	781,18	32610,02
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	32701,01	32519,03	98,74%	180,33	136,59%	409,76%	-477,96	786,56	32701,01
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	32744,05	32657,97	99,17%	180,72	137,17%	411,51%	-480,66	789,26	32744,05

E - MEMORIAL DE CÁLCULO DA VARIÂNCIA DE EXTENSÃO – FONTES COM AS DUPLICATAS REMOVIDAS

E.1 Fonte Santo Antonio

Alcalinidade – Variância total = $\sigma^2 = 99,8$ e Média = $\mu = 50,1$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	10,54504	11,14563	9,94445	9,96%	3,15348	0,40%	1,19%	49,50	50,70
(2,0,0)	(4,0,0)	4	11,14563	12,33195	9,95931	9,98%	3,15584	0,40%	1,19%	49,50	50,70
(4,0,0)	(8,0,0)	8	12,33195	14,69634	9,96756	9,99%	3,15714	0,40%	1,19%	49,50	50,70
(8,0,0)	(16,0,0)	16	14,69634	19,39467	9,99801	10,02%	3,16196	0,40%	1,19%	49,50	50,70
(16,0,0)	(32,0,0)	32	19,39467	28,56786	10,22148	10,24%	3,19710	0,41%	1,22%	49,49	50,71
(32,0,0)	(64,0,0)	64	28,56786	45,16057	11,97515	12,00%	3,46051	0,48%	1,43%	49,38	50,82
(64,0,0)	(128,0,0)	128	45,16057	66,22971	24,09143	24,14%	4,90830	0,96%	2,88%	48,66	51,54
(128,0,0)	(256,0,0)	256	66,22971	81,08205	51,37737	51,48%	7,16780	2,05%	6,14%	47,02	53,18
(256,0,0)	(512,0,0)	512	81,08205	89,57443	72,58967	72,74%	8,51996	2,89%	8,68%	45,75	54,45
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	89,57443	94,04585	85,10301	85,27%	9,22513	3,39%	10,17%	45,00	55,20
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	94,04585	96,34402	91,74768	91,93%	9,57850	3,66%	10,97%	44,61	55,59
Cálcio – Variância total = $\sigma^2 = 2,72$ e Média = $\mu = 8,3$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,292949	0,313995	0,27190	10,00%	0,52144	0,39%	1,18%	8,20	8,40
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,313995	0,356095	0,27190	10,00%	0,52144	0,39%	1,18%	8,20	8,40
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,356095	0,440164	0,27203	10,00%	0,52156	0,39%	1,18%	8,20	8,40
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,440164	0,606644	0,27368	10,06%	0,52315	0,40%	1,19%	8,20	8,40
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,606644	0,926188	0,28710	10,56%	0,53582	0,42%	1,25%	8,20	8,40
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,926188	1,457713	0,39466	14,51%	0,62822	0,57%	1,72%	8,16	8,44
(64,0,0)	(128,0,0)	128	1,457713	1,994001	0,92143	33,88%	0,95991	1,34%	4,01%	7,97	8,63
(128,0,0)	(256,0,0)	256	1,994001	2,342899	1,64510	60,48%	1,28262	2,39%	7,16%	7,71	8,89

(256,0,0)	(512,0,0)	512	2,342899	2,537144	2,14865	78,99%	1,46583	3,12%	9,36%	7,52	9,08
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	2,537144	2,638880	2,43541	89,54%	1,56058	3,54%	10,61%	7,42	9,18
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	2,638880	2,690968	2,58679	95,10%	1,60835	3,75%	11,26%	7,37	9,23
Cloreto – Variância total = $\sigma^2 = 9,48$ e Média = $\mu = 18,6$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,98601	1,02625	0,94576	9,98%	0,97250	0,27%	0,82%	18,45	18,75
(2,0,0)	(4,0,0)	4	1,02625	1,10624	0,94627	9,98%	0,97276	0,27%	0,82%	18,45	18,75
(4,0,0)	(8,0,0)	8	1,10624	1,26562	0,94685	9,99%	0,97306	0,27%	0,82%	18,45	18,75
(8,0,0)	(16,0,0)	16	1,26562	1,58303	0,94822	10,00%	0,97376	0,27%	0,82%	18,45	18,75
(16,0,0)	(32,0,0)	32	1,58303	2,21011	0,95595	10,08%	0,97772	0,28%	0,83%	18,45	18,75
(32,0,0)	(64,0,0)	64	2,21011	3,40472	1,01549	10,71%	1,00772	0,29%	0,88%	18,44	18,76
(64,0,0)	(128,0,0)	128	3,40472	5,32107	1,48837	15,70%	1,21999	0,43%	1,29%	18,36	18,84
(128,0,0)	(256,0,0)	256	5,32107	7,10878	3,53336	37,27%	1,87972	1,02%	3,06%	18,03	19,17
(256,0,0)	(512,0,0)	512	7,10878	8,22826	5,98929	63,18%	2,44730	1,73%	5,19%	17,63	19,57
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	8,22826	8,82212	7,63441	80,53%	2,76304	2,21%	6,62%	17,37	19,83
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	8,82212	9,12744	8,51679	89,84%	2,91835	2,46%	7,39%	17,23	19,97
Condutividade – Variância total = $\sigma^2 = 110,25$ e Média = $\mu = 179,4$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	11,927700	12,859770	10,995630	9,97%	3,31597	0,03%	0,10%	179,22	179,40
(2,0,0)	(4,0,0)	4	12,859770	14,712950	11,006590	9,98%	3,31762	0,03%	0,10%	179,22	179,40
(4,0,0)	(8,0,0)	8	14,712950	18,406550	11,019350	9,99%	3,31954	0,03%	0,10%	179,22	179,40
(8,0,0)	(16,0,0)	16	18,406550	25,703170	11,109930	10,08%	3,33316	0,03%	0,10%	179,21	179,40
(16,0,0)	(32,0,0)	32	25,703170	39,588970	11,817370	10,72%	3,43764	0,04%	0,11%	179,20	179,40
(32,0,0)	(64,0,0)	64	39,588970	61,871050	17,306890	15,70%	4,16016	0,05%	0,16%	179,11	179,40
(64,0,0)	(128,0,0)	128	61,871050	82,890200	40,851900	37,05%	6,39155	0,13%	0,38%	178,72	179,41
(128,0,0)	(256,0,0)	256	82,890200	96,220460	69,559940	63,09%	8,34026	0,22%	0,65%	178,24	179,41
(256,0,0)	(512,0,0)	512	96,220460	103,581500	88,859420	80,60%	9,42653	0,28%	0,83%	177,91	179,41

(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	103,581500	107,437700	99,725300	90,45%	9,98626	0,31%	0,93%	177,73	179,42
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	107,437700	109,408800	105,466600	95,66%	10,26969	0,33%	0,98%	177,64	179,42
Fluoreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,10$ e Média = $\mu = 0,0036$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,000630	0,000895	0,00037	10,14%	0,01910	3,65%	10,95%	0,089	0,111
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,000895	0,001395	0,00040	10,97%	0,01987	3,95%	11,85%	0,088	0,112
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,001395	0,002144	0,00065	17,94%	0,02542	6,46%	19,38%	0,081	0,119
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,002144	0,002783	0,00151	41,81%	0,03879	15,05%	45,15%	0,055	0,145
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,002783	0,003171	0,00240	66,53%	0,04894	23,95%	71,85%	0,028	0,172
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,003171	0,003384	0,00296	82,17%	0,05439	29,58%	88,74%	0,011	0,189
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,003384	0,003495	0,00327	90,92%	0,05721	32,73%	98,19%	0,002	0,198
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,003495	0,003552	0,00344	95,50%	0,05863	34,38%	103,14%	-0,003	0,203
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,003552	0,003580	0,00352	97,89%	0,05936	35,24%	105,72%	-0,006	0,206
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,003580	0,003595	0,00357	99,03%	0,05971	35,65%	106,95%	-0,007	0,207
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,003595	0,003602	0,00359	99,67%	0,05990	35,88%	107,64%	-0,008	0,208
Magnésio – Variância total = $\sigma^2 = 0,504$ e Média = $\mu = 3,9$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,054221	0,058140	0,05030	9,98%	0,22428	0,33%	0,99%	3,861	3,939
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,058140	0,065962	0,05032	9,98%	0,22432	0,33%	0,99%	3,861	3,939
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,065962	0,081565	0,05036	9,99%	0,22441	0,33%	0,99%	3,861	3,939
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,081565	0,112414	0,05072	10,06%	0,22520	0,33%	1,00%	3,861	3,939
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,112414	0,171594	0,05323	10,56%	0,23072	0,35%	1,05%	3,859	3,941
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,171594	0,270029	0,07316	14,52%	0,27048	0,48%	1,44%	3,844	3,956
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,270029	0,367917	0,17214	34,15%	0,41490	1,13%	3,40%	3,768	4,032
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,367917	0,430224	0,30561	60,64%	0,55282	2,01%	6,03%	3,665	4,135
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,430224	0,464720	0,39573	78,52%	0,62907	2,60%	7,81%	3,596	4,204
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,464720	0,482893	0,44655	88,60%	0,66824	2,94%	8,81%	3,557	4,243

(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,482893	0,492102	0,47368	93,98%	0,68825	3,11%	9,34%	3,536	4,264
pH – Variância total = $\sigma^2 = 0,28$ e Média = $\mu = 6,7$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{v}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{v}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,029162	0,030330	0,02799	10,00%	0,16731	0,06%	0,19%	6,687	6,713
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,030330	0,032680	0,02798	9,99%	0,16727	0,06%	0,19%	6,687	6,713
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,032680	0,037377	0,02798	9,99%	0,16728	0,06%	0,19%	6,687	6,713
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,037377	0,046749	0,02801	10,00%	0,16735	0,06%	0,19%	6,687	6,713
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,046749	0,065272	0,02823	10,08%	0,16801	0,06%	0,19%	6,687	6,713
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,065272	0,100559	0,02999	10,71%	0,17316	0,07%	0,20%	6,687	6,713
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,100559	0,157151	0,04397	15,70%	0,20968	0,10%	0,29%	6,680	6,720
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,157151	0,210086	0,10422	37,22%	0,32283	0,23%	0,70%	6,653	6,747
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,210086	0,243317	0,17686	63,16%	0,42054	0,39%	1,18%	6,621	6,779
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,243317	0,261643	0,22499	80,35%	0,47433	0,50%	1,50%	6,599	6,801
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,261643	0,27121	0,25208	90,03%	0,50207	0,56%	1,68%	6,587	6,813
Sódio – Variância total = $\sigma^2 = 20,34$ e Média = $\mu = 19,6$											
$\frac{t}{2}$	t	Intervalo	$\bar{v}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{v}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	1,912407	2,129285	2,226675	10,95%	1,49220	0,58%	1,74%	19,26	19,60
(2,0,0)	(4,0,0)	4	1,976153	2,226675	2,421653	11,91%	1,55617	0,63%	1,89%	19,23	19,60
(4,0,0)	(8,0,0)	8	2,104914	2,421653	2,812239	13,83%	1,67697	0,73%	2,20%	19,17	19,60
(8,0,0)	(16,0,0)	16	2,362394	2,812239	3,589332	17,65%	1,89455	0,93%	2,80%	19,05	19,61
(16,0,0)	(32,0,0)	32	2,875316	3,589332	5,119281	25,17%	2,26258	1,33%	4,00%	18,82	19,61
(32,0,0)	(64,0,0)	64	3,893280	5,119281	7,989131	39,28%	2,82651	2,08%	6,24%	18,38	19,61
(64,0,0)	(128,0,0)	128	5,866682	7,989131	12,230080	60,13%	3,49715	3,18%	9,55%	17,73	19,62
(128,0,0)	(256,0,0)	256	9,305538	12,230080	15,742540	77,40%	3,96769	4,10%	12,29%	17,19	19,62
(256,0,0)	(512,0,0)	512	13,190690	15,742540	17,843590	87,73%	4,22417	4,64%	13,93%	16,87	19,63
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	15,839970	17,843590	18,977140	93,30%	4,35628	4,94%	14,82%	16,70	19,63
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	17,312440	18,977140	19,563900	96,18%	4,42311	5,09%	15,28%	16,61	19,63

E.2 Fonte Sonja

Alcalinidade – Variância total = $\sigma^2 = 74,65$ e Média = $\mu = 48,5$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	8,10530	8,76253	7,44807	9,98%	2,72912	0,32%	0,95%	48,039	48,961
(2,0,0)	(4,0,0)	4	8,76253	10,07138	7,45367	9,98%	2,73014	0,32%	0,95%	48,039	48,961
(4,0,0)	(8,0,0)	8	10,07138	12,67518	7,46758	10,00%	2,73269	0,32%	0,95%	48,038	48,962
(8,0,0)	(16,0,0)	16	12,67518	17,81780	7,53256	10,09%	2,74455	0,32%	0,96%	48,034	48,966
(16,0,0)	(32,0,0)	32	17,81780	27,56043	8,07517	10,82%	2,84168	0,34%	1,03%	48,001	48,999
(32,0,0)	(64,0,0)	64	27,56043	42,86900	12,25186	16,41%	3,50027	0,52%	1,56%	47,742	49,258
(64,0,0)	(128,0,0)	128	42,86900	56,76560	28,97240	38,81%	5,38260	1,23%	3,70%	46,708	50,292
(128,0,0)	(256,0,0)	256	56,76560	65,41040	48,12080	64,46%	6,93692	2,05%	6,14%	45,523	51,477
(256,0,0)	(512,0,0)	512	65,41040	70,04609	60,77471	81,41%	7,79581	2,58%	7,75%	44,741	52,259
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	70,04609	72,41676	67,67542	90,66%	8,22651	2,88%	8,63%	44,314	52,686
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	72,41676	73,62848	71,20504	95,39%	8,43831	3,03%	9,08%	44,096	52,904
Cálcio – Variância total = $\sigma^2 = 17,47$ e Média = $\mu = 16,1$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	1,801608	1,862477	1,85915	10,64%	1,36351	0,72%	2,15%	15,754	16,446
(2,0,0)	(4,0,0)	4	1,862477	1,982120	1,97562	11,31%	1,40557	0,76%	2,29%	15,732	16,468
(4,0,0)	(8,0,0)	8	1,982120	2,220153	2,20722	12,63%	1,48567	0,85%	2,55%	15,689	16,511
(8,0,0)	(16,0,0)	16	2,220153	2,694871	2,66932	15,28%	1,63380	1,03%	3,09%	15,603	16,597
(16,0,0)	(32,0,0)	32	2,694871	3,636882	3,58583	20,53%	1,89363	1,38%	4,15%	15,432	16,768
(32,0,0)	(64,0,0)	64	3,636882	5,462681	5,36672	30,72%	2,31662	2,07%	6,21%	15,100	17,100
(64,0,0)	(128,0,0)	128	5,462681	8,645895	8,49651	48,63%	2,91488	3,28%	9,83%	14,517	17,683
(128,0,0)	(256,0,0)	256	8,645895	12,171840	12,05132	68,98%	3,47150	4,65%	13,95%	13,854	18,346
(256,0,0)	(512,0,0)	512	12,171840	14,525410	14,45496	82,74%	3,80197	5,58%	16,73%	13,407	18,793

(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	14,525410	15,836340	15,80003	90,44%	3,97493	6,10%	18,29%	13,156	19,044
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	15,836340	16,52512	16,50843	94,50%	4,06306	6,37%	19,11%	13,024	19,176
Cloreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,324$ e Média = $\mu = 4,3$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{Y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{Y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,038992	0,045596	0,03239	10,00%	0,17997	0,18%	0,53%	4,277	4,323
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,045596	0,058754	0,03244	10,01%	0,18011	0,18%	0,53%	4,277	4,323
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,058754	0,084610	0,03290	10,15%	0,18138	0,18%	0,53%	4,277	4,323
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,084610	0,132679	0,03654	11,28%	0,19116	0,20%	0,59%	4,275	4,325
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,132679	0,201309	0,06405	19,77%	0,25308	0,35%	1,04%	4,255	4,345
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,201309	0,256199	0,14642	45,19%	0,38265	0,79%	2,38%	4,198	4,402
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,256199	0,288014	0,22438	69,25%	0,47369	1,21%	3,64%	4,143	4,457
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,288014	0,305013	0,27102	83,65%	0,52059	1,47%	4,40%	4,111	4,489
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,305013	0,313780	0,29625	91,43%	0,54428	1,60%	4,81%	4,093	4,507
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,313780	0,318213	0,30935	95,48%	0,55619	1,67%	5,02%	4,084	4,516
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,318213	0,32046	0,31597	97,52%	0,56211	1,71%	5,13%	4,080	4,520
Condutividade – Variância total = $\sigma^2 = 501,92$ e Média = $\mu = 144,31$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{Y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{Y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	61,41714	68,12225	54,71203	10,90%	7,39676	0,26%	0,79%	143,173	145,447
(2,0,0)	(4,0,0)	4	68,12225	81,50204	54,74246	10,91%	7,39881	0,26%	0,79%	143,172	145,448
(4,0,0)	(8,0,0)	8	81,50204	108,12160	54,88248	10,93%	7,40827	0,26%	0,79%	143,169	145,451
(8,0,0)	(16,0,0)	16	108,12160	160,03930	56,20390	11,20%	7,49693	0,27%	0,81%	143,142	145,478
(16,0,0)	(32,0,0)	32	160,03930	253,15790	66,92070	13,33%	8,18051	0,32%	0,96%	142,919	145,701
(32,0,0)	(64,0,0)	64	253,15790	367,48000	138,83580	27,66%	11,78286	0,67%	2,00%	141,424	147,196
(64,0,0)	(128,0,0)	128	367,48000	448,20240	286,75760	57,13%	16,93392	1,38%	4,13%	138,349	150,271
(128,0,0)	(256,0,0)	256	448,20240	494,35850	402,04630	80,10%	20,05109	1,93%	5,79%	135,952	152,668
(256,0,0)	(512,0,0)	512	494,35850	518,95110	469,76590	93,59%	21,67408	2,26%	6,77%	134,544	154,076
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	518,95110	531,61050	506,29170	100,87%	22,50093	2,43%	7,29%	133,785	154,835
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	531,61050	538,07460	525,14640	104,63%	22,91607	2,52%	7,56%	133,393	155,227

Fluoreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,0064$ e Média = $\mu = 0,12$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,000673	0,000704	0,00064	100,31%	0,02534	4,46%	13,38%	0,104	0,136
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,000704	0,000769	0,00064	99,84%	0,02528	4,44%	13,31%	0,104	0,136
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,000769	0,000897	0,00064	100,16%	0,02532	4,45%	13,35%	0,104	0,136
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,000897	0,001153	0,00064	100,16%	0,02532	4,45%	13,35%	0,104	0,136
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,001153	0,001657	0,00065	101,41%	0,02548	4,51%	13,52%	0,104	0,136
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,001657	0,002596	0,00072	112,19%	0,02680	4,99%	14,96%	0,102	0,138
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,002596	0,003942	0,00125	195,31%	0,03536	8,68%	26,04%	0,089	0,151
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,003942	0,005016	0,00287	448,13%	0,05355	19,92%	59,75%	0,048	0,192
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,005016	0,005653	0,00438	684,22%	0,06617	30,41%	91,23%	0,011	0,229
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,005653	0,005996	0,00531	829,69%	0,07287	36,88%	110,63%	-0,013	0,253
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,005996	0,006175	0,00582	908,91%	0,07627	40,40%	121,19%	-0,025	0,265
Lítio – Variância total = $\sigma^2 = 0,000025$ e Média = $\mu = 0,027$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,000003	0,000003	0,00000	12,00%	0,00173	0,41%	1,23%	0,027	0,027
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,000003	0,000003	0,00000	12,00%	0,00173	0,41%	1,23%	0,027	0,027
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,000003	0,000004	0,00000	8,00%	0,00141	0,27%	0,82%	0,027	0,027
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,000004	0,000006	0,00000	8,00%	0,00141	0,27%	0,82%	0,027	0,027
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,000006	0,000009	0,00000	12,00%	0,00173	0,41%	1,23%	0,027	0,027
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,000009	0,000014	0,00000	16,00%	0,00200	0,55%	1,65%	0,027	0,027
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,000014	0,000019	0,00001	36,00%	0,00300	1,23%	3,70%	0,026	0,028
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,000019	0,000021	0,00002	68,00%	0,00412	2,33%	7,00%	0,025	0,029
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,000021	0,000023	0,00002	76,00%	0,00436	2,61%	7,82%	0,025	0,029
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,000023	0,000024	0,00002	88,00%	0,00469	3,02%	9,05%	0,025	0,029
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,000024	0,000024	0,00002	96,00%	0,00490	3,29%	9,88%	0,024	0,030
Magnésio – Variância total = $\sigma^2 = 0,04$ e Média = $\mu = 1,9$											

$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{2}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{2}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,004305	0,004609	0,00400	10,00%	0,06325	0,11%	0,33%	1,894	1,906
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,004609	0,005221	0,00400	9,99%	0,06322	0,11%	0,33%	1,894	1,906
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,005221	0,006442	0,00400	10,00%	0,06325	0,11%	0,33%	1,894	1,906
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,006442	0,008861	0,00402	10,06%	0,06343	0,11%	0,33%	1,894	1,906
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,008861	0,013508	0,00421	10,54%	0,06492	0,12%	0,35%	1,893	1,907
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,013508	0,021265	0,00575	14,38%	0,07584	0,16%	0,48%	1,891	1,909
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,021265	0,028983	0,01355	33,87%	0,11639	0,38%	1,13%	1,879	1,921
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,028983	0,033893	0,02407	60,18%	0,15515	0,67%	2,00%	1,862	1,938
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,033893	0,036595	0,03119	77,98%	0,17661	0,86%	2,59%	1,851	1,949
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,036595	0,038004	0,03519	87,97%	0,18758	0,97%	2,92%	1,844	1,956
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,038004	0,038728	0,03728	93,20%	0,19308	1,03%	3,10%	1,841	1,959
pH – Variância total = $\sigma^2 = 0,0121$ e Média = $\mu = 7,4$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{2}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{2}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,001343	0,001478	0,00121	9,98%	0,03476	0,00%	0,01%	7,400	7,400
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,001478	0,001747	0,00121	9,99%	0,03477	0,00%	0,01%	7,400	7,400
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,001747	0,002283	0,00121	10,01%	0,03480	0,00%	0,01%	7,400	7,400
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,002283	0,003311	0,00126	10,37%	0,03543	0,00%	0,01%	7,399	7,401
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,003311	0,005252	0,00137	11,32%	0,03701	0,00%	0,01%	7,399	7,401
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,005252	0,007821	0,00268	22,17%	0,05180	0,00%	0,01%	7,399	7,401
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,007821	0,009730	0,00591	48,86%	0,07689	0,01%	0,03%	7,398	7,402
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,009730	0,010835	0,00863	71,28%	0,09287	0,02%	0,05%	7,397	7,403
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,010835	0,011421	0,01025	84,70%	0,10124	0,02%	0,06%	7,396	7,404
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,011421	0,011722	0,01112	91,90%	0,10545	0,02%	0,06%	7,395	7,405
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,011722	0,011873	0,01157	95,63%	0,10757	0,02%	0,06%	7,395	7,405
Sódio – Variância total = $\sigma^2 = 2,040$ e Média = $\mu = 12,6$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{2}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{2}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max

(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,224473	0,245374	0,204	9,98%	0,45119	0,13%	0,38%	12,552	12,648
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,245374	0,287077	0,204	9,98%	0,45130	0,13%	0,38%	12,552	12,648
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,287077	0,369996	0,204	10,01%	0,45184	0,13%	0,39%	12,551	12,649
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,369996	0,532817	0,207	10,16%	0,45516	0,13%	0,39%	12,551	12,649
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,532817	0,835301	0,230	11,29%	0,47993	0,15%	0,44%	12,545	12,655
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,835301	1,264438	0,406	19,91%	0,63731	0,26%	0,77%	12,503	12,697
(64,0,0)	(128,0,0)	128	1,264438	1,604438	0,924	45,32%	0,96148	0,58%	1,75%	12,380	12,820
(128,0,0)	(256,0,0)	256	1,604438	1,805822	1,403	68,78%	1,18451	0,88%	2,65%	12,266	12,934
(256,0,0)	(512,0,0)	512	1,805822	1,913156	1,698	83,26%	1,30326	1,07%	3,21%	12,196	13,004
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	1,913156	1,968954	1,857	91,05%	1,36285	1,17%	3,51%	12,158	13,042
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	1,968954	1,997127	1,941	95,14%	1,39312	1,22%	3,67%	12,138	13,062

E.3 Fonte Verônica

Alcalinidade bicarbonato – Variância total = $\sigma^2 = 0,152$ e Média = $\mu = 11,8$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,030978	0,046433	0,01552	10,21%	0,1246	0,01%	0,03%	11,80	11,80
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,046433	0,073631	0,01924	12,65%	0,1387	0,01%	0,04%	11,80	11,80
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,073631	0,104653	0,04261	28,03%	0,2064	0,03%	0,09%	11,79	11,81
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,104653	0,125668	0,08364	55,03%	0,2892	0,06%	0,18%	11,78	11,82
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,125668	0,137746	0,11359	74,73%	0,3370	0,08%	0,24%	11,77	11,83
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,137746	0,144271	0,13122	86,33%	0,3622	0,09%	0,28%	11,77	11,83
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,144271	0,147657	0,14089	92,69%	0,3753	0,10%	0,30%	11,76	11,84
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,147657	0,149373	0,14594	96,01%	0,3820	0,10%	0,31%	11,76	11,84
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,149373	0,150234	0,14851	97,71%	0,3854	0,11%	0,32%	11,76	11,84
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,150234	0,150661	0,14981	98,56%	0,3870	0,11%	0,32%	11,76	11,84
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,150661	0,150869	0,15045	98,98%	0,3879	0,11%	0,32%	11,76	11,84
Alcalinidade carbonato – Variância total = $\sigma^2 = 0,5$ e Média = $\mu = 11,00$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,10385	0,15494	0,05275	10,47%	0,2297	0,04%	0,13%	10,99	11,01
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,15494	0,24487	0,06501	12,90%	0,2550	0,05%	0,16%	10,98	11,02
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,24487	0,34838	0,14137	28,05%	0,3760	0,12%	0,35%	10,96	11,04
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,34838	0,41879	0,27796	55,15%	0,5272	0,23%	0,69%	10,92	11,08
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,41879	0,45862	0,37896	75,19%	0,6156	0,31%	0,94%	10,90	11,10
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,45862	0,47972	0,43752	86,81%	0,6615	0,36%	1,08%	10,88	11,12
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,47972	0,49055	0,46889	93,03%	0,6848	0,39%	1,16%	10,87	11,13
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,49055	0,49598	0,48512	96,25%	0,6965	0,40%	1,20%	10,87	11,13
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,49598	0,49880	0,49317	97,85%	0,7023	0,41%	1,22%	10,87	11,13
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,49880	0,50012	0,49747	98,70%	0,7053	0,41%	1,23%	10,86	11,14
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,50012	0,50077	0,49947	99,10%	0,7067	0,41%	1,24%	10,86	11,14

Cálcio – Variância total = $\sigma^2 = 0,02$ e Média = $\mu = 6,5$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{v}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{v}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,003831	0,005391	0,00227	10,09%	0,0477	0,01%	0,02%	6,50	6,50
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,005391	0,008347	0,00244	10,82%	0,0493	0,01%	0,02%	6,50	6,50
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,008347	0,012963	0,00373	16,58%	0,0611	0,01%	0,03%	6,50	6,50
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,012963	0,017097	0,00883	39,24%	0,0940	0,02%	0,06%	6,50	6,50
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,017097	0,019722	0,01447	64,32%	0,1203	0,03%	0,10%	6,49	6,51
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,019722	0,021171	0,01827	81,21%	0,1352	0,04%	0,13%	6,49	6,51
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,021171	0,021938	0,02040	90,68%	0,1428	0,05%	0,14%	6,49	6,51
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,021938	0,022390	0,02149	95,49%	0,1466	0,05%	0,15%	6,49	6,51
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,022390	0,022527	0,02225	98,90%	0,1492	0,05%	0,16%	6,49	6,51
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,022527	0,022627	0,02243	99,68%	0,1498	0,05%	0,16%	6,49	6,51
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,022627	0,022676	0,02258	100,35%	0,1503	0,05%	0,16%	6,49	6,51
Cloreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,33$ e Média = $\mu = 3,10$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{v}\left(\frac{t}{t}\right)$	$\bar{v}\left(\frac{t}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,051057	0,071889	0,03023	9,16%	0,1739	0,31%	0,94%	3,07	3,13
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,071889	0,111786	0,03199	9,69%	0,1789	0,33%	1,00%	3,07	3,13
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,111786	0,177527	0,04605	13,95%	0,2146	0,48%	1,44%	3,06	3,14
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,177527	0,241453	0,11360	34,42%	0,3370	1,18%	3,55%	2,99	3,21
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,241453	0,282834	0,20007	60,63%	0,4473	2,08%	6,25%	2,91	3,29
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,282834	0,306235	0,25943	78,62%	0,5093	2,70%	8,10%	2,85	3,35
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,306235	0,318626	0,29384	89,04%	0,5421	3,06%	9,17%	2,82	3,38
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,318626	0,324994	0,31226	94,62%	0,5588	3,25%	9,75%	2,80	3,40
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,324994	0,328222	0,32177	97,50%	0,5672	3,35%	10,04%	2,79	3,41
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,328222	0,329834	0,32661	98,97%	0,5715	3,40%	10,20%	2,78	3,42
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,329834	0,330629	0,32904	99,71%	0,5736	3,42%	10,27%	2,78	3,42
Condutividade – Variância total = $\sigma^2 = 0,0016$ e Média = $\mu = 0,61$											

$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,00029	0,00038	0,000200	12,50%	0,0141	0,05%	0,16%	0,61	0,61
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,00038	0,00055	0,000207	12,94%	0,0144	0,06%	0,17%	0,61	0,61
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,00055	0,00084	0,000256	16,00%	0,0160	0,07%	0,21%	0,61	0,61
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,00084	0,00115	0,000532	33,25%	0,0231	0,14%	0,43%	0,61	0,61
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,00115	0,00136	0,000949	59,31%	0,0308	0,26%	0,77%	0,61	0,61
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,00136	0,00147	0,001242	77,63%	0,0352	0,33%	1,00%	0,60	0,62
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,00147	0,00153	0,001408	88,00%	0,0375	0,38%	1,14%	0,60	0,62
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,00153	0,00156	0,001498	93,63%	0,0387	0,40%	1,21%	0,60	0,62
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,00156	0,00157	0,001542	96,38%	0,0393	0,41%	1,24%	0,60	0,62
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,00157	0,00158	0,001567	97,94%	0,0396	0,42%	1,26%	0,60	0,62
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,00158	0,00159	0,001577	98,56%	0,0397	0,42%	1,27%	0,60	0,62
Fluoreto – Variância total = $\sigma^2 = 0,0001$ e Média = $\mu = 0,1$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,000015	0,000021	0,00001	9,00%	0,00300	0,09%	0,27%	0,10	0,10
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,000021	0,000031	0,00001	11,00%	0,00332	0,11%	0,33%	0,10	0,10
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,000031	0,000049	0,00001	13,00%	0,00361	0,13%	0,39%	0,10	0,10
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,000049	0,000069	0,00003	29,00%	0,00539	0,29%	0,87%	0,10	0,10
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,000069	0,000083	0,00006	55,00%	0,00742	0,55%	1,65%	0,10	0,10
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,000083	0,000091	0,00008	75,00%	0,00866	0,75%	2,25%	0,10	0,10
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,000091	0,000095	0,00009	87,00%	0,00933	0,87%	2,61%	0,10	0,10
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,000095	0,000097	0,00009	93,00%	0,00964	0,93%	2,79%	0,10	0,10
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,000097	0,000098	0,00010	96,00%	0,00980	0,96%	2,88%	0,10	0,10
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,000098	0,000099	0,00010	97,00%	0,00985	0,97%	2,91%	0,10	0,10
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,000099	0,000099	0,00010	99,00%	0,00995	0,99%	2,97%	0,10	0,10
Magnésio – Variância total = $\sigma^2 = 0,0196$ e Média = $\mu = 3,40$											
$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max

(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,003725	0,005449	0,00200	10,21%	0,0447	0,02%	0,05%	3,40	3,40
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,005449	0,008595	0,00230	11,75%	0,0480	0,02%	0,06%	3,40	3,40
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,008595	0,012736	0,00445	22,72%	0,0667	0,04%	0,12%	3,40	3,40
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,012736	0,015805	0,00967	49,32%	0,0983	0,08%	0,25%	3,39	3,41
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,015805	0,017589	0,01402	71,54%	0,1184	0,12%	0,36%	3,39	3,41
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,017589	0,018541	0,01664	84,88%	0,1290	0,14%	0,43%	3,39	3,41
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,018541	0,019036	0,01805	92,07%	0,1343	0,16%	0,47%	3,38	3,42
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,019036	0,019288	0,01878	95,84%	0,1371	0,16%	0,49%	3,38	3,42
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,019288	0,019414	0,01916	97,77%	0,1384	0,17%	0,50%	3,38	3,42
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,019414	0,019477	0,01935	98,73%	0,1391	0,17%	0,50%	3,38	3,42
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,019477	0,019508	0,01945	99,21%	0,1394	0,17%	0,50%	3,38	3,42

pH – Variância total = $\sigma^2 = 0,0961$ e Média = $\mu = 6,6$

$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,024635	0,038545	0,01073	11,16%	0,10356	0,02%	0,07%	6,60	6,60
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,038545	0,058826	0,01826	19,01%	0,13514	0,04%	0,13%	6,59	6,60
(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,058826	0,075269	0,04238	44,10%	0,20587	0,10%	0,29%	6,58	6,60
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,075269	0,085050	0,06549	68,15%	0,25591	0,15%	0,45%	6,57	6,60
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,085050	0,090290	0,07981	83,05%	0,28251	0,18%	0,55%	6,56	6,60
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,090290	0,093002	0,08758	91,13%	0,29594	0,20%	0,60%	6,56	6,60
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,093002	0,094374	0,09163	95,35%	0,30270	0,21%	0,63%	6,56	6,60
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,094374	0,095064	0,09368	97,49%	0,30608	0,22%	0,65%	6,56	6,60
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,095064	0,095411	0,09472	98,56%	0,30776	0,22%	0,65%	6,56	6,60
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,095411	0,095584	0,09524	99,10%	0,30861	0,22%	0,66%	6,56	6,60
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,095584	0,095664	0,09550	99,38%	0,30904	0,22%	0,66%	6,56	6,60

Sódio – Variância total = $\sigma^2 = 0,220$ e Média = $\mu = 7,00$

$\frac{t}{2}$	T	Intervalo	$\bar{y}\left(\frac{t}{T}\right)$	$\bar{y}\left(\frac{T}{T}\right)$	σ_{ext}^2	% variância total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	0,02679	0,03159	0,02199	9,99%	0,14828	0,04%	0,13%	6,99	7,01
(2,0,0)	(4,0,0)	4	0,03159	0,04115	0,02203	10,01%	0,14842	0,04%	0,13%	6,99	7,01

(4,0,0)	(8,0,0)	8	0,04115	0,05989	0,02242	10,19%	0,14974	0,05%	0,14%	6,99	7,01
(8,0,0)	(16,0,0)	16	0,05989	0,09429	0,02549	11,58%	0,15964	0,05%	0,16%	6,99	7,01
(16,0,0)	(32,0,0)	32	0,09429	0,14078	0,04779	21,72%	0,21861	0,10%	0,29%	6,98	7,02
(32,0,0)	(64,0,0)	64	0,14078	0,17593	0,10563	48,01%	0,32500	0,22%	0,65%	6,95	7,05
(64,0,0)	(128,0,0)	128	0,17593	0,19648	0,15538	70,63%	0,39418	0,32%	0,95%	6,93	7,07
(128,0,0)	(256,0,0)	256	0,19648	0,20750	0,18546	84,30%	0,43065	0,38%	1,14%	6,92	7,08
(256,0,0)	(512,0,0)	512	0,20750	0,21317	0,20183	91,74%	0,44926	0,41%	1,24%	6,91	7,09
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	0,21317	0,21605	0,21029	95,59%	0,45857	0,43%	1,29%	6,91	7,09
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	0,21605	0,21751	0,21460	97,55%	0,46325	0,44%	1,31%	6,91	7,09