

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,  
METALÚRGICA E MATERIAIS – PPGE3M**

**DANIELE PERONDI**

**CONVERSÃO TERMOQUÍMICA DO RESÍDUO DO TRITURADOR DE  
SUCATA (RTS) DE UMA SIDERÚRGICA**

Porto Alegre  
2017

DANIELE PERONDI

**CONVERSÃO TERMOQUÍMICA DO RESÍDUO DO TRITURADOR DE  
SUCATA (RTS) DE UMA SIDERÚRGICA**

Tese realizada no Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia da UFRGS, e no Laboratório de Energia e Bioprocessos da Universidade de Caxias do Sul (UCS), submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia.  
Área de Concentração: Tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia Extrativa.  
Orientador: Prof. Dr. Ing. Antônio Cezar Faria Vilela  
Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo Godinho

Porto Alegre

2017

DANIELE PERONDI

CONVERSÃO TERMOQUÍMICA DO RESÍDUO DO TRITURADOR DE  
SUCATA (RTS) DE UMA SIDERÚRGICA

Esta tese de doutorado foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia na área de Tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia Extrativa e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais– PPGE3M da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

Orientador: Professor Dr. Ing. Antônio Cezar Faria Vilela

---

Co-orientador: Professor Dr. Marcelo Godinho

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

Dr. Clovis Dutra Acosta – Grupo Gerdau

---

Prof. Dra. Gabriela Carvalho Collazzo - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

---

Prof. Dr. Nilson Romeu Marcilio- Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

---

Dedico este trabalho ao meu esposo, Deivid Ciepielewski  
e aos meus pais, Laurindo Perondi e Marinez Grando Perondi.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico por ter financiado e possibilitado esta pesquisa, através do Processo CNPq nº 142141/2013-5.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ing. Antônio Cezar Faria Vilela, pela confiança depositada, pelas contribuições e principalmente pela tranquilidade e sabedoria com que conduziu este trabalho.

Ao meu Co-orientador, Prof. Dr. Marcelo Godinho, pelas inúmeras horas de dedicação, pela confiança depositada desde o início do mestrado acadêmico em Engenharia de Processos e Tecnologias na Universidade de Caxias do Sul e também, por ter aceito esta co-orientação em parceria com a UFRGS. Agradeço pela paciência em todos os momentos que necessitei de seu auxílio, pelas madrugadas dedicadas a correção desta tese e por todas as vezes em que compartilhou sua experiência. Serei eternamente grata por tudo o que aprendemos e evoluímos neste tempo de trabalho.

Ao Laboratório de Siderurgia (Lasid) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, nas pessoas dos doutorandos Cláudia Caroline Teixeira Barbieiri e Bruno Deves Flores e da aluna de Pós-doutorado Dra. Juliana Gonçalves Pohlmann, pelo auxílio e pela troca de informações.

Ao Laboratório de Processamento Mineral (Laprom) e ao Instituto de Geociências, ambos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, nas pessoas dos professores Dra. Gelsa Edith Navarro Hidalgo, Dr. Carlos Hoffmann Sampaio e Dr. Wolfgang Kalkreuth, por possibilitarem a execução de todas as análises de CHNS.

Ao Laboratório de Energia e Bioprocessos (Lebio) da Universidade de Caxias do Sul, nas pessoas dos mestres Daniela De Conto, Glaiton Tuzzin, Jayna Pessuto Silva, Karina Berwig, Michele Leoratto Botomé, dos mestrados Ivan Pedro Lazzarotto e Pablo Beluck de Oliveira, das doutorandas Bianca Santinon Scopel, Janaína Junges e Suelem Daiane Ferreira e dos bolsistas de iniciação Giovani Betoni Broliatto, João Victor Poli, Laís Bavaresco e Paula De Marco, pela amizade e pelo aprendizado constante.

A aluna de pós-doutorado Dra. Patrícia Poletto, atualmente professora da Universidade Federal de Santa Catarina, por todos os ensinamentos, conselhos e almoços compartilhados.

Agradeço em especial a duas bolsistas de iniciação científica: Danielle Restelatto (por ter dedicado grande parte de seu tempo na execução dos ensaios de pirólise deste trabalho) e Andrezza Piroli Tonello (pelos inúmeros ensaios de poder calorífico), além do mestrando

Christian Manera, pelo desenvolvimento do fluxograma do reator, pelo auxílio nas análises de cloro e pela companhia diária no laboratório. Meu eterno agradecimento a vocês, além da amizade construída.

A professora Dra. Aline Dettmer da Universidade de Caxias do Sul, Co-orientadora do meu trabalho de mestrado acadêmico, por continuar me incentivando e apoiando durante este doutoramento.

A professora Dra. Gabriela Carvalho Collazzo da Universidade Federal de Santa Maria, pela amizade, parceria contínua e por todos os ensinamentos.

Aos meus pais Laurindo Perondi e Marinez Grando Perondi, e ao meu irmão Vagner Perondi, por sempre acreditarem em meus sonhos e por me incentivarem em mais esta etapa.

Ao meu esposo Deivid Ciepielewski, por todas as horas de verdadeiro companheirismo, pelo amor incondicional, paciência e também por acreditar na importância deste trabalho.

Aos membros da banca, por terem aceito o convite e por contribuírem com este estudo.

Para finalizar, agradeço a todas as pessoas que colaboraram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho durante estes quatro anos.

*Renda-se, como eu me rendi. Mergulhe no que você não conhece como eu mergulhei. Não se preocupe em entender, viver ultrapassa qualquer entendimento.*

Clarice Lispector

## RESUMO

Diferentes resíduos são gerados pelas indústrias siderúrgicas, dentre eles o resíduo dos trituradores de sucata (RTS). O destino mais utilizado para o RTS pelas indústrias siderúrgicas brasileiras é o aterro de resíduos industriais. A pirólise se apresenta como uma alternativa para o reaproveitamento do RTS. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes parâmetros operacionais sobre as propriedades e o rendimento dos produtos do processo de pirólise do RTS para fins de um posterior aproveitamento. Um reator de pirólise de leito fixo foi utilizado e as seguintes variáveis foram testadas fazendo-se uso de um planejamento experimental  $2^k$ : temperatura (500, 600 e 700 °C), taxa de aquecimento (5, 20, 35 °C/min), vazão de gás inerte ( $N_2$ ) (0,03, 0,44 e 0,76 L/min) e razão CaO/RTS (0, 1 e 2). A utilização de uma taxa de aquecimento menor, associada a presença de CaO, resultou nos maiores rendimentos de gás não-condensável (> 50%). O poder calorífico deste gás, aumentou com o incremento da razão CaO/RTS. Este aumento foi atribuído a captura *in situ* do  $CO_2$ . A utilização de uma vazão maior de gás inerte, também favoreceu o aumento do poder calorífico do gás não-condensável. Os maiores valores obtidos ( $\approx 25$  MJ/Nm<sup>3</sup>) são apreciáveis, considerando o poder calorífico de outros combustíveis. Os maiores rendimentos de *char* (> 24%) foram obtidos nos experimentos com a utilização de uma temperatura menor, associada a ausência de CaO. A utilização de uma taxa de aquecimento mais elevada resultou em maiores rendimentos de voláteis condensáveis. Os menores rendimentos de voláteis condensáveis foram obtidos quando a vazão de inerte foi menor. Também foi possível verificar que, houve um aumento do rendimento de voláteis condensáveis com a presença de CaO para a temperatura de 700 °C. Este comportamento foi atribuído ao maior rendimento global de estireno nas referidas condições operacionais. O rendimento global de 2,4-dimetil-1-heptano também apresentou comportamento semelhante ao observado para o rendimento de voláteis condensáveis, indicando que o  $AlCl_3$  pode ter atuado como catalisador da pirólise do PP presente no RTS. Com o aumento da razão CaO/RTS, houve uma redução da concentração de  $CO_2$ . A redução da concentração de  $CO_2$  na presença de CaO está associada a formação de  $CaCO_3$ . A retenção de cloro no *char* foi mais elevada nos ensaios conduzidos na presença de CaO. Verificou-se uma redução da retenção de cloro no *char* com o aumento da temperatura para os ensaios conduzidos na presença de CaO. Uma diminuição da retenção de metais no *char* foi verificada nos experimentos conduzidos com CaO para os seguintes metais: Co, Cu, Cr, Fe, Ni e Zn. A remoção do cloro permitiria conduzir o processo de pirólise a temperaturas mais elevadas, aumentando a Eficiência Energética mínima (EE) do processo. Desta forma, fica clara a necessidade da remoção do cloro do RTS antes do processo de pirólise, pois a partir disto o uso do CaO contribuiria para o aumento da EE e da retenção de metais no *char*, e conseqüentemente da desejabilidade global.

Palavras-chave: indústria siderúrgica, tratamento de resíduos, conversão termoquímica e resíduos do triturador de sucata.



## ABSTRACT

Different wastes are generated by steel industries, among them the shredder residue (SR). The most commonly used destination for SR by Brazilian steel industry is the landfill of industrial waste. The pyrolysis can be considered a solution to this problem. The aim of this work was to evaluate the effects of different operating parameters upon the properties and yield of the SR pyrolysis process products for later use. A fixed bed pyrolysis reactor was used and the following variables were tested using a  $2^k$  experimental design: temperature (500, 600 and 700 °C), heating rate (5, 20, 35 °C/min), flow rate of inert gas ( $N_2$ ) (0.03, 0.44 and 0.76 L/min) and CaO/SR ratio (0, 1 and 2). The use of a lower heating rate, associated with the CaO presence, resulted in higher yields of non-condensable gas (> 50%). The calorific value of this gas increased with the growth of the CaO/SR ratio. This increase was attributed to an *in situ*  $CO_2$  capture. The use of a higher flow rate of inert gas also favored the increase in the calorific power of the non-condensable gas. The highest values ( $\approx 25$  MJ/Nm<sup>3</sup>) are appreciable considering the calorific value of other fuels. The highest char yields (> 24%) were obtained in the experiments using a lower temperature associated with the absence of CaO. The use of a higher heating rate resulted in higher yields of condensable volatiles. The lower yields of condensable volatiles were obtained when the inert flow rate was lower. It was also possible to verify that there was an increase in the condensable volatiles yield with the CaO presence at a temperature of 700 °C. This behavior was attributed to the higher styrene overall yield under these operating conditions. The 2,4-dimethyl-1-heptane overall yield also presented a similar behavior to that observed for the condensable volatiles yield, indicating that the  $AlCl_3$  may have acted as a catalyst for the PP pyrolysis present in the SR. With the increase in the CaO/RTS ratio, there was a reduction in the  $CO_2$  concentration. The  $CO_2$  concentration reduction in the CaO presence is associated with the  $CaCO_3$  formation. The chlorine retention in the char was higher in the experiments conducted with CaO presence. A reduction in the chlorine retention in char was observed with increasing temperature for the experiments conducted with CaO presence. A decrease in metal retention in the char was verified in the experiments conducted with CaO for the following metals: Co, Cu, Cr, Fe, Ni and Zn. Chlorine removal would allow the pyrolysis process to be conducted at higher temperatures, increasing the minimum energy efficiency (EE) of the process. Therefore, it is clear the need to remove chlorine from the SR before the pyrolysis process, since, the CaO use would contribute to the EE increase and the retention of metals in the char, and consequently the global desirability.

Keywords: Steel industry, waste treatment, thermochemical conversion and shredder residue.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1. Exemplo de fluxograma do processo produtivo de uma siderúrgica semi-integrada. ....	22
Figura 2.2. Rota simplificada do processamento de sucatas em um triturador <i>Shredder</i> existente em pátios de usinas siderúrgicas. ....	24
Figura 2.3. Processo <i>Thermo-bath</i> . ....	30
Figura 2.4. Rendimento do gás combustível e da fração líquida no processo de pirólise do RTS automotivo. ....	39
Figura 2.5. Comportamento do <i>char</i> , orgânicos e cinzas. ....	39
Figura 2.6. Esquema do reator tubular. ....	40
Figura 2.7. Análise térmica da degradação térmica (pirólise /gaseificação) do RTS. ....	42
Figura 2.8. Produção de H <sub>2</sub> em função da temperatura sob diferentes atmosferas. ....	43
Figura 2.9. Produção de NO <sub>2</sub> em função da temperatura sob diferentes atmosferas. ....	44
Figura 2.10. Reações de iniciação da degradação térmica do poliestireno. ....	47
Figura 2.11. Etapa de propagação baseada na transferência de Hidrogênio (primeiro caso). ..	47
Figura 2.12. Etapa de propagação baseada na transferência de Hidrogênio (segundo caso). ..	48
Figura 2.13. Reação de cisão $\beta$ . ....	48
Figura 2.14. Reação de decomposição na posição $\beta$ . ....	48
Figura 2.15. Etapa de iniciação da degradação térmica do polietileno. ....	49
Figura 2.16. Etapa de propagação relacionada a quebra de ligações na posição $\beta$ . ....	49
Figura 2.17. Etapa de propagação relacionada a transferência intermolecular de hidrogênio. ....	49
Figura 2.18. Etapa de propagação relacionada a quebra de ligações na posição $\beta$ . ....	50
Figura 2.19. Etapa de propagação relacionada a transferência intermolecular de Hidrogênio. ....	50
Figura 2.20. Etapa de terminação. ....	50
Figura 2.21. Etapa de iniciação da degradação térmica do polipropileno. ....	51
Figura 2.22. Reações de transferência intermolecular. ....	51
Figura 2.23. Cisão $\beta$ dos radicais terciários. ....	51
Figura 2.24. Formação de alcano a partir da saturação do radical secundário. ....	52
Figura 2.25. Formação dos produtos do processo de pirólise considerando reações em paralelo. ....	52
Figura 2.26. Formação dos produtos do processo de pirólise (primeira proposta de ELORDI <i>et al.</i> 2007). ....	52
Figura 2.27. Formação dos produtos do processo de pirólise (demais mecanismos propostos por ELORDI <i>et al.</i> 2007). ....	53
Figura 2.28. Representação esquemática das reações primárias e secundárias durante a pirólise. ....	54
Figura 3.1. Procedimento de amostragem na indústria siderúrgica. ....	56
Figura 3.2. Procedimento de quarteamento das amostras na indústria siderúrgica. ....	56
Figura 3.3. Fluxograma do processo de preparação das amostras. ....	57
Figura 3.4. Fluxograma geral da metodologia utilizada neste trabalho. ....	58
Figura 3.5. Fluxograma do reator utilizado nos ensaios de pirólise. ....	60
Figura 3.6. Posicionamento dos termopares do reator utilizado nos ensaios de pirólise. ....	60
Figura 3.7. Fração líquida composta de VCB e álcool isopropílico. ....	61
Figura 3.8. Etapa de separação da fração líquida (VCB + álcool isopropílico). ....	62
Figura 3.9. VCA obtido nos ensaios de pirólise do RTS. ....	62
Figura 3.10. Amostras do <i>char</i> produzido a partir dos ensaios de pirólise do RTS. ....	63
Figura 3.11. Materiais presentes no RTS. ....	66
Figura 3.12. Vista isométrica do coletor utilizado para o armazenamento do gás não-condensável. ....	78

Figura 4.1. Termograma do RTS e dos materiais constituintes do RTS para a taxa de aquecimento de 5 °C/min.....	84
Figura 4.2. Derivada primeira para a amostra de poliestireno nas taxas de aquecimento de 5 e 35 °C/min.....	85
Figura 4.3. Derivada primeira para a amostra de polietileno nas taxas de aquecimento de 5 e 35 °C/min. (a) PEAD. (b) PEBD.....	86
Figura 4.4. Derivada primeira para a amostra de polipropileno nas taxas de aquecimento de 5 e 35 °C/min.....	86
Figura 4.5. Derivada primeira para as amostras de poliamida nas taxas de aquecimento de 5 e 35 °C/min. (a) Poliamida 6. (b) Poliamida 6.6. (c) Poliamida 6.12.....	87
Figura 4.6. Derivada primeira para a amostra de madeira nas taxas de aquecimento de 5 e 35 °C/min.....	88
Figura 4.7. Derivada primeira para a amostra do RTS nas taxas de aquecimento de 5 e 35°C/min.....	89
Figura 4.8. Diagrama de Pareto para a variável de resposta rendimento de gás não-condensável (%). .....	93
Figura 4.9. Variação do rendimento de gás não-condensável em função da taxa de aquecimento.....	94
Figura 4.10. Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o rendimento de gás não-condensável (%), considerando a interação entre as variáveis taxa de aquecimento e razão CaO/RTS. ....	94
Figura 4.11. Diagrama de Pareto para a variável de resposta poder calorífico do gás não-condensável (MJ/Nm <sup>3</sup> ) produzido nos ensaios de pirólise do RTS (base livre de N <sub>2</sub> ). .....	95
Figura 4.12. Variação do poder calorífico do gás não-condensável em função da vazão de inerte (N <sub>2</sub> ) e da razão CaO/RTS (resultados expressos em base livre de N <sub>2</sub> ). .....	96
Figura 4.13. Diagrama de Pareto para a variável de resposta rendimento de <i>char</i> (%). .....	97
Figura 4.14. Rendimento de <i>char</i> em função da temperatura. ....	98
Figura 4.15. Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o rendimento de <i>char</i> (%), considerando a interação entre as variáveis temperatura e razão CaO/RTS. ....	98
Figura 4.16. Diagrama de Pareto para a variável de resposta rendimento de voláteis condensáveis (%). .....	99
Figura 4.17. Variação do rendimento de voláteis condensáveis em função da taxa de aquecimento e da vazão de gás inerte (N <sub>2</sub> ). .....	100
Figura 4.18. Variação do rendimento de voláteis condensáveis em função da temperatura e da razão CaO/RTS.....	101
Figura 4.19. Variação do rendimento global de Estireno (%) em função das variáveis temperatura e razão CaO/RTS.....	102
Figura 4.20. Esquema de obtenção do estireno pela alquilação de Friedel-Crafts.....	102
Figura 4.21. Variação do rendimento global de 2,4-dimetil-1-heptano (%) em função das variáveis temperatura e razão CaO/RTS. ....	104
Figura 4.22. Diagrama de Pareto para a concentração de hidrogênio (% mol/mol) em base livre de N <sub>2</sub> no gás não-condensável.....	105
Figura 4.23. Variação da concentração (mol/mol) de gás hidrogênio em base livre de N <sub>2</sub> em função da taxa de aquecimento.....	106
Figura 4.24. (a) Variação da concentração (mol/mol) em base livre de N <sub>2</sub> em função da razão CaO/RTS. (a) Dióxido de carbono (b) Monóxido de carbono. (c) Metano.....	106
Figura 4.25. Pressão parcial de CO <sub>2</sub> em função da temperatura. ....	108
Figura 4.26. Variação da concentração (mol/mol) de hidrocarbonetos (em base livre de N <sub>2</sub> ) em função da vazão de inerte (N <sub>2</sub> ).....	109

Figura 4.27. Diagrama de Pareto para a variável de resposta poder calorífico (MJ/kg) do <i>char</i> produzido nos ensaios de pirólise do RTS.....	110
Figura 4.28. Variação do Poder calorífico do <i>char</i> (MJ/kg) em função da interação entre as variáveis taxa de aquecimento e razão CaO/RTS.....	110
Figura 4.29. Diagrama de Pareto para a variável de resposta retenção de cloro no <i>char</i> (% massa) obtida nos ensaios de pirólise do RTS.....	111
Figura 4.30. Variação da retenção de cloro no <i>char</i> (% massa) em função das variáveis razão CaO/RTS e temperatura.....	112
Figura 4.31. Volatilidade de alguns cloretos metálicos.....	113
Figura 4.32. Variação da retenção de cloro no <i>char</i> (% massa) em função das variáveis razão CaO/RTS e vazão de inerte (N <sub>2</sub> ).....	114
Figura 4.33. Variação da retenção de metais no <i>char</i> (% massa) em função da variável razão CaO/RTS. (a) Alumínio. (b) Cobalto. (c) Cobre. (d) Cromo. (e) Ferro. (f) Manganês. (g) Níquel e (h) Zinco.....	115
Figura 4.34. Variação da retenção de Chumbo no <i>char</i> (% massa) em função das variáveis razão CaO/RTS e temperatura.....	117
Figura 4.35. Diagrama de Pareto para a variável de resposta rendimento global de estireno (%). .....	119
Figura 4.36. Variação do rendimento global de estireno (%) em função da variável taxa de aquecimento.....	120
Figura 4.37. Diagrama de Pareto para a variável de resposta poder calorífico de VCB (MJ/kg). .....	120
Figura 4.38. Variação do poder calorífico de VCB (MJ/kg) em função da variável vazão de gás inerte (N <sub>2</sub> ). .....	121
Figura 4.39. Diagrama de Pareto para a variável de resposta razão molar O/C.....	121
Figura 4.40. Variação da razão molar O/C em função da variável vazão de gás inerte (N <sub>2</sub> ). .....	122
Figura 4.41. Variação da EE em função da taxa de aquecimento (a) e da razão CaO/RTS (b). .....	123
Figura 4.42. Variação da EE em função da variável razão CaO/RTS.....	124

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Dados da indústria siderúrgica Brasileira (ano base 2015). .....	21
Tabela 2.2. Polímeros utilizados nos automóveis.....	26
Tabela 2.3. Composição do resíduo de trituradores de sucata (% massa).....	27
Tabela 2.4. Composição físico-química do RTS.....	28
Tabela 2.5. Dados comparativos do RTS com diferentes carvões. ....	28
Tabela 2.6. Distribuição dos produtos de pirólise do RTS.....	33
Tabela 2.7. Poder calorífico reportado para o RTS. ....	34
Tabela 2.8. Composição (% massa) e poder calorífico das amostras de RTS.....	35
Tabela 2.9. Concentrações de metais nos resíduos sólidos ( <i>char</i> ) provenientes da pirólise do RTS (% em massa). ....	36
Tabela 2.10. Concentrações de cloro no RTS. ....	36
Tabela 2.11. Umidade (% massa), composição elementar (% massa) e poder calorífico dos óleos de pirólise.....	37
Tabela 2.12. Unidades pirolíticas e tecnologias em escala industrial. ....	41
Tabela 3.1. Polímeros virgens utilizados para as análises térmicas. ....	58
Tabela 3.2. Procedimento de coleta das amostras de gás. ....	60
Tabela 3.3. Matriz do Planejamento Experimental. ....	64
Tabela 3.4. Características físicas, químicas e mecânicas de alguns polímeros encontrados no RTS.....	67
Tabela 3.5. Valores do calor de combustão para os principais compostos presentes no gás não-condensável. ....	74
Tabela 3.6. Métodos cromatográficos utilizados para a detecção/quantificação dos gases não-condensáveis.....	78
Tabela 4.1. Identificação e quantificação dos materiais presentes no RTS.....	82
Tabela 4.2. Distribuição granulométrica das amostras de RTS.....	83
Tabela 4.3. Características relacionadas as fases de decomposição térmica do RTS nas taxas de aquecimento de 5 e 35 °C/min. ....	89
Tabela 4.4. Análise imediata, elementar e de poder calorífico superior do RTS.....	90
Tabela 4.5. Valores médios das concentrações dos metais presentes no RTS.....	92
Tabela 4.6. Condições ótimas para o processo de pirólise do RTS.....	125

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABS, Acrilonitrila-butadieno-estireno

ASR, do inglês, *Auto Shredder residue*

ASTM, do inglês, *American Society for Testing and Materials*

CAS, do inglês, *Chemical Abstracts Service*

C<sub>f</sub>, carbono fixo

CGMS, cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas

C<sub>i</sub>, composto insaturado

CMS, do inglês, *Carbon Molecular Sieve*

C<sub>s</sub>, composto saturado

C<sub>z</sub>, cinzas

DRX, difração de raios X

EDS, do inglês, *Energy dispersive spectroscopy*

EPA, do inglês, *Environmental Protection Agency*

EVA, espuma vinílica acetinada

FID, do inglês, *Flame Ionization Detector*

FTIR, Espectrometria no infravermelho com transformada de Fourier

ICP-OES, Espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado

LAPAM, Laboratório de Análises e pesquisas Ambientais da Universidade de Caxias do Sul

LAPROM, Laboratório de Processamento Mineral da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LASID, Laboratório de Siderurgia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LcMIC, Laboratório Central de Microscopia da Universidade de Caxias do Sul

LEBIO, Laboratório de Energia e Bioprocessos da Universidade de Caxias do Sul

LPOL, Laboratório de Polímeros da Universidade de Caxias do Sul

MEVEC, microscópio de varredura por emissão de campo

MO, óxidos metálicos

MV, matéria volátil

NBR, norma brasileira

PA, poliamida

PAH, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

PBT, polibutileno tereftalato

PC, policarbonato

PCDD, dibenzo-para-dioxinas policloradas  
PCDF, dibenzofuranos policlorados  
PCS, poder calorífico superior  
PE, polietileno  
PEAD, polietileno de alta densidade  
PEBD, polietileno de baixa densidade  
PET, polietileno tereftalato  
P<sub>i</sub>, espécie polimérica insaturada  
PLOT, do inglês, *Porous Layer Open Tubular*  
PP, polipropileno  
PS, poliestireno  
PUR, poliuretano  
PVC, policloreto de vinila  
R<sub>a</sub>, radical alilo benzílico  
R<sub>p</sub>, radical primário  
R<sub>pi</sub>, radical intermediário  
R<sub>s</sub>, radical secundário  
R'<sub>s</sub>, radical secundário de pequena cadeia  
R<sub>sb</sub>, radical benzílico secundário  
R'<sub>sb</sub>, radical com menos uma unidade monomérica  
R<sub>t</sub>, radical terciário  
R<sub>ti</sub>, radical intermediário  
RTS, resíduo dos trituradores de sucata  
TCD, do inglês, *Thermal Conductivity Detector*  
T<sub>f</sub>, temperatura final  
TGA, do inglês, *Thermogravimetric Analysis*  
T<sub>i</sub>, temperatura inicial  
T<sub>máx</sub>, temperatura onde a taxa de reação é máxima  
VCA, vapores condensados no primeiro borbulhador  
VCB, vapores condensados nos demais borbulhadores  
Y<sub>i</sub>, fração molar do gás i

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Indústria Siderúrgica.....	21
2.2 Resíduo do Triturador de Sucata (RTS) .....	25
2.2.1 Alternativas de tratamento e destinação do RTS.....	29
2.2.2 Tratamento termoquímico do RTS .....	31
2.2.3 Degradação térmica do RTS .....	42
2.3 Tratamento termoquímico de polímeros.....	44
2.4 Mecanismos de degradação térmica dos principais polímeros presentes no RTS .....	45
2.4.1 Poliestireno (PS).....	46
2.4.2 Polietileno (PE) .....	49
2.4.3 Polipropileno (PP) .....	50
2.5 Reações primárias e secundárias em processos de pirólise .....	52
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	55
3.1 Materiais .....	55
3.1.1 Amostras de RTS.....	55
3.1.2 Óxido de cálcio.....	57
3.1.3 Polímeros .....	57
3.2 Métodos .....	58
3.2.1 Ensaios de pirólise .....	59
3.2.2 Determinação do rendimento dos produtos do processo de pirólise do RTS.....	61
3.2.3 Planejamento Experimental.....	63
3.3 Técnicas de caracterização .....	66
3.3.1 Identificação e quantificação dos materiais presentes no RTS .....	66
3.3.2 Distribuição granulométrica .....	68
3.3.3 Análise Termogravimétrica .....	68
3.3.4 Análise imediata .....	69
3.3.4.1 Umidade .....	69
3.3.4.2 Teor de Matéria volátil .....	70
3.3.4.3 Teor de Cinzas .....	70
3.3.4.4 Teor de carbono fixo .....	71
3.3.5 Análise elementar .....	71
3.3.6 Poder calorífico.....	71



3.3.6.1	Preparação das pastilhas .....	72
3.3.6.2	Preparação do sistema .....	72
3.3.6.3	Obtenção dos dados experimentais .....	73
3.3.7	Análise de cloro .....	74
3.3.8	Teor de metais .....	75
3.3.8.1	Procedimento de digestão ácida das amostras de <i>char</i> .....	75
3.3.8.2	Procedimento de digestão ácida da amostra de RTS .....	76
3.3.9	Análise cromatográfica dos gases não-condensáveis (CG) .....	77
3.3.10	Análise de Cromatografia Gasosa Acoplada a Espectrometria de Massas (CGMS) ....	79
3.3.11	Espectroscopia de energia dispersiva ( <i>Energy dispersive spectroscopy</i> ) .....	80
3.3.12	Difração de raios X (DRX) .....	80
3.3.13	Eficiência energética mínima (EE) .....	81
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	82
4.1	Identificação e quantificação dos materiais presentes no RTS .....	82
4.2	Distribuição granulométrica do RTS .....	83
4.3	Análise termogravimétrica .....	83
4.4	Análise imediata, elementar e de poder calorífico superior do RTS .....	90
4.5	Análise do teor de metais no RTS .....	92
4.6	Rendimentos do processo de pirólise .....	92
4.6.1	Rendimento de gás não-condensável .....	93
4.6.1.1	Poder calorífico do gás não-condensável gerado no processo de pirólise do RTS .....	95
4.6.2	Rendimento de <i>char</i> .....	97
4.6.3	Rendimento de voláteis condensáveis .....	99
4.7	Composição do gás não-condensável gerado no processo de pirólise do RTS .....	104
4.8	Análise imediata do char obtido no processo de pirólise do RTS .....	109
4.9	Poder calorífico do char obtido no processo de pirólise do RTS .....	109
4.10	Retenção de cloro no char .....	111
4.11	Retenção de metais no <i>char</i> .....	114
4.12	Caracterização dos vapores condensáveis produzidos nos ensaios de pirólise do RTS ..	118
4.12.1	Poder calorífico dos vapores condensáveis produzidos nos ensaios de pirólise do RTS	
	120	
4.13	Eficiência energética mínima (EE) dos ensaios de pirólise do RTS .....	122
4.14	Otimização do processo de pirólise do RTS pela função desejabilidade .....	124
5.	CONCLUSÕES .....	127
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	130

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	131
APÊNDICE 1 .....	142
APÊNDICE 2 .....	144
APÊNDICE 3 .....	145
APÊNDICE 5 .....	149
APÊNDICE 6 .....	166
APÊNDICE 7 .....	168
APÊNDICE 8 .....	170
APÊNDICE 9 .....	172
APÊNDICE 10 .....	229
APÊNDICE 11 .....	231
ANEXO 1 .....	232
ANEXO 2 .....	239
ANEXO 3 .....	242
ANEXO 4 .....	243

## 1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento adequado dos resíduos sólidos urbanos e industriais constitui um dos grandes desafios enfrentados pela sociedade, devido aos aspectos sanitários, ambientais e econômicos envolvidos.

No atual estágio de desenvolvimento, é impossível imaginar o mundo sem o uso do aço. A produção de aço é um forte indicador do estágio de desenvolvimento econômico de um país. Seu consumo cresce proporcionalmente à construção de edifícios, execução de obras públicas, instalação de meios de comunicação e produção de equipamentos. O aço é hoje o produto mais reciclável e mais reciclado do mundo. Assim, carros, geladeiras, fogões, latas, barras e arames tornam-se sucatas, que alimentam os fornos das usinas, produzindo novamente aço de qualidade (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2016).

A atividade siderúrgica, se não controlada, pode causar grandes impactos ambientais, pois diferentes resíduos são gerados, dentre eles a escória, o material particulado e o resíduo dos trituradores de sucata (RECKZIEGEL, 2012). Segundo dados do Instituto Aço Brasil, no ano de 2015 cada tonelada de aço produzido gerou 594 kg de coprodutos e resíduos, perfazendo um total de 19,8 milhões de toneladas (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2016). O resíduo dos trituradores de sucata (RTS) é constituído principalmente de polímeros, espumas, vidros, borrachas, têxteis, solo, etc., e não há uma alternativa definitiva para o seu aproveitamento. O destino mais utilizado para o RTS pelas indústrias siderúrgicas brasileiras é o aterro de resíduos industriais, sendo que este tipo de disposição resulta em um alto custo para os geradores. O referido resíduo é classificado segundo a NBR 10.004/2004 como não-inerte (Classe II).

A reciclagem química e a recuperação energética em incineradores são processos alternativos para o aproveitamento de resíduos e de sua energia. Contudo, o principal problema relacionado a incineração de resíduos é a mistura imperfeita do ar com o combustível, uma vez que é criado um ambiente propício para as emissões provenientes da combustão incompleta. Esta mistura imperfeita ocorre porque o combustível consiste em partes sólidas que precisam pirolisar e mesmo fundir nas reações com o oxigênio. Assim, para obter uma boa mistura é crucial minimizar as complicações físicas da mistura dos gases oxidantes com o combustível sólido. De modo a diminuir este problema, os resíduos poliméricos podem ser convertidos por pirólise em uma mistura gasosa. Esta mistura gasosa, pode ser posteriormente misturada com ar e então queimada sob condições de baixa emissão de poluentes (GONÇALVES, 2007). Além disto, de acordo com GUO *et al.* (2012), a pirólise é uma opção atrativa porque pode reduzir a

corrosão e a emissão de enxofre, cloro, dioxinas policloradas e furanos, bem como reduz a taxa de formação do  $\text{NO}_x$  (mecanismo  $\text{NO}_x$  térmico-*thermal*  $\text{NO}_x$ ), devido a sua baixa temperatura de operação.

Assim, a conversão termoquímica, através da pirólise, se apresenta como uma alternativa para o reaproveitamento do RTS. A pirólise ocorre a temperaturas moderadas e na ausência de oxigênio. A matéria orgânica presente no resíduo (polímeros, borrachas, etc.) é decomposta em três frações (sólido carbonoso, vapores condensáveis e gás não-condensável). O gás produzido é constituído basicamente de gases não-condensáveis ( $\text{H}_2/\text{CO}/\text{CH}_4/\text{CO}_2$ ) e gases de maior massa molar ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ). Este gás pode ser empregado em diversas aplicações, tais como na produção de calor e/ou energia elétrica.

O gás não-condensável produzido após o processo de pirólise, além de ser rico em hidrogênio, possui outros gases ( $\text{CO}/\text{CH}_4$ ). O monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) é um gás redutor, e pode ser utilizado em processos de redução do minério de ferro, enquanto o metano ( $\text{CH}_4$ ) também pode ser convertido para a produção de gases redutores. Esses gases, por serem combustíveis, podem servir de fonte de energia para outros processos siderúrgicos, como os fornos elétricos a arco. Os vapores condensáveis e o sólido carbonoso (*char*) produzidos no processo de pirólise também podem ser utilizados como fonte de calor em diferentes processos produtivos.

O presente trabalho aborda uma avaliação do processo de pirólise do RTS gerado pela indústria siderúrgica sob diferentes parâmetros operacionais. Este processo torna-se atrativo, principalmente em função do possível reaproveitamento das correntes na própria indústria siderúrgica, como por exemplo o gás não-condensável.

- **OBJETIVOS**

- **Objetivo Geral**

- Avaliar o efeito de diferentes parâmetros de operação (temperatura/taxa de aquecimento/vazão de gás inerte/razão  $\text{CaO}/\text{RTS}$ ) sobre as propriedades e o rendimento dos produtos do processo de pirólise do RTS para fins de um posterior aproveitamento.

- **Objetivos Específicos**

- Este trabalho tem como objetivos específicos:

- a) caracterizar o RTS proveniente de uma indústria siderúrgica brasileira através das técnicas de distribuição granulométrica, análise térmica (TGA/DTG), imediata, elementar, concentração de cloro, poder calorífico e teor de metais;

b) avaliar o efeito da temperatura, da taxa de aquecimento, da vazão de gás inerte ( $N_2$ ) e da razão CaO/RTS sobre o rendimento das três correntes geradas (*char*/vapores condensáveis/gás não-condensável) a partir do processo de pirólise do RTS;

c) avaliar o efeito da temperatura, da taxa de aquecimento, da vazão de gás inerte ( $N_2$ ) e da razão CaO/RTS sobre as propriedades do *char*, dos vapores condensáveis e do gás não-condensável obtido no processo de pirólise do RTS;

d) avaliar o efeito da temperatura, da taxa de aquecimento, da vazão de gás inerte ( $N_2$ ) e da razão CaO/RTS sobre a retenção de cloro e metais no *char* obtido no processo de pirólise do RTS.

e) avaliar o efeito da temperatura, da taxa de aquecimento, da vazão de gás inerte ( $N_2$ ) e da razão CaO/RTS sobre a eficiência energética mínima do processo de pirólise do RTS.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Indústria Siderúrgica

Representado por vinte e nove usinas, controladas por onze grupos empresariais, a indústria siderúrgica brasileira foi responsável pela produção em 2015, de 33,3 milhões de toneladas de aço bruto (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2016), levando o país a ocupar a 11ª posição no ranking da produção mundial. Na Tabela 2.1 são apresentados os dados do setor siderúrgico Brasileiro.

Tabela 2.1. Dados da indústria siderúrgica Brasileira (ano base 2015).

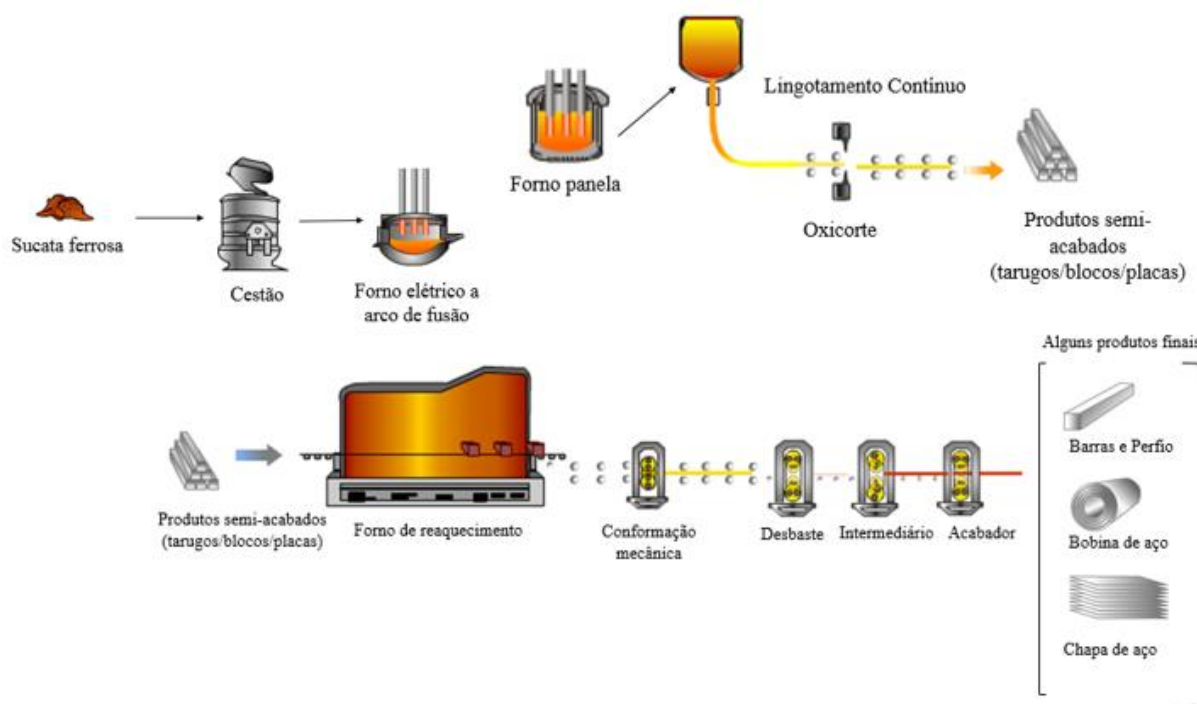
<b>Capacidade instalada</b>	48,9 milhões de t/ano de aço bruto
<b>Produtos siderúrgicos</b>	31,8 milhões de toneladas
<b>Número de colaboradores</b>	111.509
<b>Saldo comercial</b>	US\$ 3,5 bilhões
<b>Consumo per capita de aço no Brasil</b>	104 quilos de produto siderúrgico/habitante

Fonte: (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2016).

As usinas siderúrgicas produtoras de aço podem ser classificadas segundo os seus processos produtivos em: integradas e semi-integradas. As integradas possuem 3 etapas de produção: redução, refino e conformação mecânica, enquanto as semi-integradas possuem na maioria das vezes, as etapas de refino e conformação mecânica (partem das sucatas metálicas adquiridas majoritariamente de terceiros, de ferro-gusa e, opcionalmente, de ferro-esponja para a produção do aço nas aciarias elétricas e posterior conformação mecânica).

No estado do Rio Grande do Sul há somente usinas semi-integradas (recicladoras de sucatas ferrosas), que operam com fornos elétricos a arco. Em plantas siderúrgicas semi-integradas a aciaria é a área responsável pela transformação em aço das matérias-primas, tais como sucata, ferro-gusa, ligas metálicas e demais insumos (RECKZIEGEL, 2012). Na Figura 2.1, são mostradas as principais operações envolvidas em uma siderúrgica semi-integrada.

Figura 2.1. Exemplo de fluxograma do processo produtivo de uma siderúrgica semi-integrada.



Fonte: Adaptada do INSTITUTO AÇO BRASIL, 2016.

Após selecionada, prensada, cortada e triturada, a sucata é adicionada ao forno elétrico a arco de fusão, para ser fundida e submetida ao refino primário do aço. Para que se atinjam as propriedades desejadas, o aço também passa por um refino secundário, realizado no forno-panela, para ajustar sua composição química e temperatura. Nesse processo o aço refinado é transportado ao lingotamento contínuo. Em algumas unidades há também a opção do lingotamento convencional. Os produtos lingotados são chamados de semi-acabados e conforme a forma, de lingotes, tarugos, blocos e placas.

O forno de reaquecimento eleva a temperatura do semi-acabado a uma faixa entre 1000 a 1200 °C, para permitir o processo de conformação mecânica, como por exemplo a laminação. As gaiolas na laminação proporcionam as primeiras deformações do semi-acabado, preparando-o para iniciar a passagem pelos laminadores intermediários. As gaiolas acabadoras dão a forma e dimensões finais para o produto laminado. O produto final pode ser fornecido, em função da sua aplicação posterior, na forma de rolos ou bobinas, barras, perfis ou chapas.

Para que a sucata possa ser utilizada no processo de fabricação do aço, ela precisa ser previamente preparada, de forma que a necessidade de utilização de trituradores de sucatas *Shredder* tornou-se importante para aumentar a produtividade dos fornos elétricos a arco.

Até a metade do século passado, as ferramentas para corte se resumiam a tesouras e serras manuais, ou ainda pequenas guilhotinas com acionamento mecânico. Após o final da Segunda Guerra Mundial, enormes quantidades de sucata foram geradas, principalmente de origem bélica e armações da construção civil. Esse novo panorama, aliado ao aquecimento das economias do pós-guerra, gerou uma nova demanda: a criação de equipamentos mais robustos para o corte da sucata (WIENZKE, 2003).

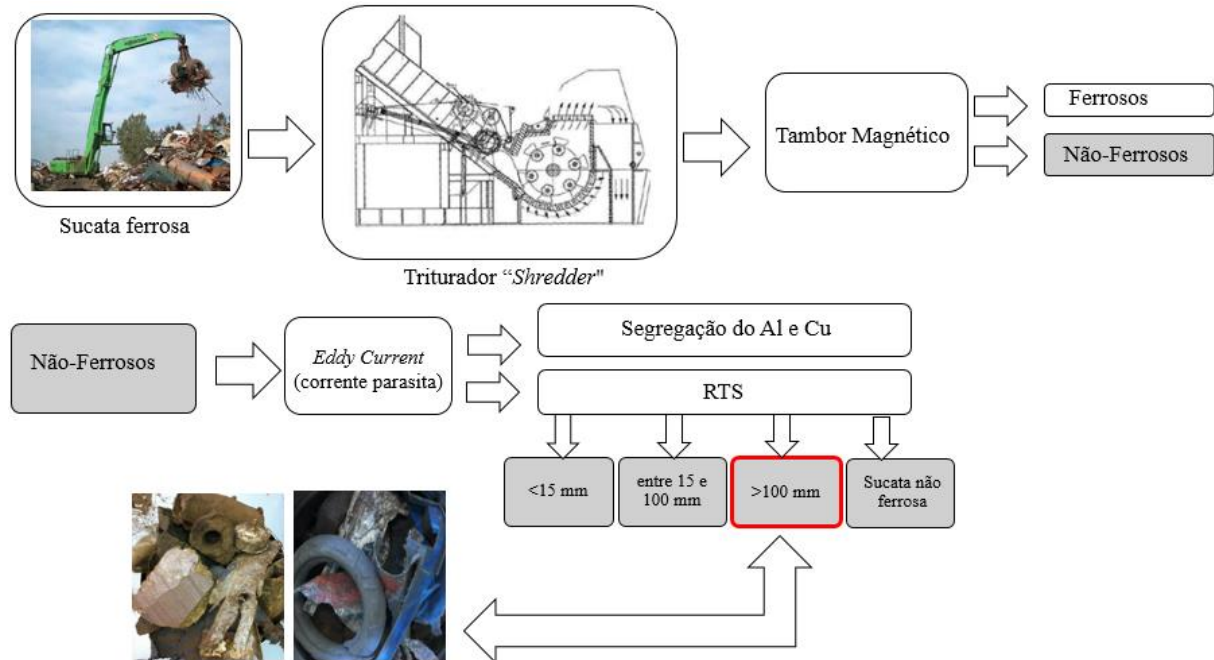
O triturador de sucata tem a função de triturar e separar a fração metálica ferrosa. Na maioria dos países desenvolvidos, a principal fonte de sucata é o automóvel obsoleto. É através dos trituradores de sucata, que milhões de toneladas de aço e metais não-ferrosos são recuperados (RECKZIEGEL, 2012).

O triturador de sucata é um moinho de martelos que tritura veículos e outras sucatas contendo metais. As próximas etapas do processo podem variar de acordo com o equipamento. As referidas etapas envolvem a classificação por diferença de massa específica (separação das frações leves), estágios de separação magnética (recuperação de metais ferrosos) e operações baseadas no efeito “*Eddy Current*”, também conhecido por “Corrente Foucault” ou ainda, “Corrente Parasita” (recuperação de metais não-ferrosos). Operações de peneiramento permitem a separação dos materiais em diferentes granulometrias (KELLER, 2003 apud RECKZIEGEL, 2012).

Um fluxograma do processo que envolve um triturador de sucata é mostrado na Figura 2.2, com destaque no local onde o RTS utilizado neste trabalho é gerado.



Figura 2.2. Rota simplificada do processamento de sucatas em um triturador *Shredder* existente em pátios de usinas siderúrgicas.



Fonte: Elaboração da presente autora.

Inicialmente a sucata é triturada através do triturador (moinho de martelos), e após passa pelos tambores magnéticos, cujo objetivo é a separação da fração ferrosa magnética da não-ferrosa. A fração ferrosa é o produto do triturador. Esse produto é chamado de sucata *Shredder* ou de sucata triturada e é posteriormente encaminhado para ser carregado em fornos elétricos a arco. A fração não magnética (não-ferrosa) é encaminhada para um processo de separação (*Eddy Current*: corrente Parasita) que permite a segregação predominantemente do alumínio e do cobre. O Ensaio por Correntes Parasitas baseia-se fundamentalmente na Lei de Indução de Faraday, onde o campo magnético, gerado por uma bobina quando alimentada por uma corrente elétrica alternada, induz, na peça a ser ensaiada, correntes elétricas, também denominadas correntes parasitas. Tanto o alumínio, quanto o cobre, podem ser comercializados pela própria siderúrgica. A fração não magnética constitui o RTS. O RTS é direcionado para locais específicos, conforme sua faixa granulométrica (RTS <15 mm, entre 15 e 100 mm e >100 mm). De acordo com dados reportados em um relatório técnico interno do LAPROM/UFRGS, a fração de RTS <15 mm corresponde a 55,65% do volume de geração de resíduos, enquanto a fração entre 15 e 100 mm corresponde a 42,81% e a fração >100 mm aproximadamente 1%. É importante destacar que a capacidade de processamento de sucata do equipamento em questão

é de 45 mil toneladas/mês. A fração do RTS >100 mm está destacada na Figura 2.2 por ser o objeto deste trabalho. Acerca desta fração, serão apresentados mais detalhes na sequência.

## 2.2 Resíduo do Triturador de Sucata (RTS)

O resíduo de um triturador de sucata é a fração fragmentada de um veículo ou de qualquer tipo de sucata. Este resíduo também é denominado de “*Auto Shredder Residue (ASR)*”, “*Shredder Fluff (SF)*”, “Resíduos de Trituração (RT)”, “*Auto fluff*” ou simplesmente “*fluff*” (RECKZIEGEL, 2012).

O RTS gerado pelas siderúrgicas brasileiras se difere dos demais países devido aos materiais que são alimentados no triturador. Comumente, em outros países os trituradores são alimentados com automóveis, ao passo que no Brasil, os materiais alimentados no triturador procedem das mais variadas fontes (produtos da linha branca, como por exemplo geladeiras, fogões, etc.), tornando a composição do resíduo final extremamente heterogênea.

Segundo DE MARCO *et al.* (2007), os resíduos automotivos de um triturador de sucata são constituídos principalmente de polímeros, espumas, vidros, borrachas, têxteis, solos, etc., e não há uma alternativa de aproveitamento para os mesmos.

DAY *et al.* (2003) caracterizaram uma amostra de RTS proveniente de um triturador de sucata (*shredder*) canadense. A referida amostra apresentou massa específica de 405 kg/m<sup>3</sup>, 6% de umidade, 18% de partículas maiores que 25,5 mm, 37% de finos (menor que 2 mm) e poder calorífico de 11,8 MJ/kg. Além disto, apresentou metais em sua composição, tais como zinco (1%), chumbo (0,25%) e cobre (1%). Cádmio e cromo foram encontrados em uma quantidade inferior a 0,05%.

ROY e CHAALA (2001) caracterizaram resíduos de RTS provenientes da América do Norte e da Europa. Os autores reportaram que a massa específica destes resíduos pode variar de 282 a 563 kg/m<sup>3</sup>. Os teores de umidade variaram entre 0,6 e 6,6%, enquanto o poder calorífico variou entre 16,9 e 30,7 MJ/kg. Segundo NOURREDDINE (2007), o RTS pode apresentar poder calorífico similar aos agentes de redução (carvão mineral, coque metalúrgico e carvão vegetal) comumente utilizados nos processos de fabricação de ferro e aço.

A quantidade gerada de RTS tende a aumentar devido ao crescimento do número de carros que são sucateados, e pelo aumento da quantidade de polímeros utilizados na produção de carros. Na Tabela 2.2, é possível identificar os diferentes polímeros utilizados na fabricação de automóveis (MARK, 2000).

Tabela 2.2. Polímeros utilizados nos automóveis.

<b>Polímero</b>	<b>Massa (%)</b>
Polipropileno (PP)	44,0
Poliuretano (PUR)	13,0
Poliamida (PA)	8,5
Polietileno (PE)	8,5
Acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS)	7,5
Poliésteres (PET/PBT)	4,0
Policarbonatos (PC)	3,0
Outros	11,5

Fonte: MARK (2000).

O consumo de polímeros/compósitos na indústria automobilística americana, por exemplo, aumentou de 79,2 kg/automóvel em 1978 para 109 kg/automóvel em 1992. Por volta do ano 2000 o peso médio de um automóvel era de 1350 kg e destes, 135 kg eram polímeros (NOURREDDINE, 2007). No ano de 1994 a quantidade de RTS gerado nos Estados Unidos foi estimada entre 2,27 e 2,72 milhões de toneladas (250 kg por tonelada de aço era recuperada na operação do triturador) (PRAGNA e BRAKTA, 1994).

Dados recentes mostram que a indústria global automotiva gera aproximadamente 50 milhões de toneladas de resíduos a cada ano. Atualmente os metais contabilizam 75% do peso dos veículos em final de vida, e são quase completamente recuperados (VIGANO *et al.*, 2010). Os 25% remanescentes estão à espera de uma tecnologia de processamento de resíduos apropriada, alternativa a disposição em aterros.

A Tabela 2.3 apresenta um resumo da composição do RTS, reportada por diferentes pesquisadores. Os resultados variam dependendo da alimentação do triturador e dos tipos de veículos em final de vida, ferro leve, produtos da linha branca, além da eficiência dos sistemas de separação dos metais.

Tabela 2.3.Composição do resíduo de trituradores de sucata (% massa).

Materiais	Referências													
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
Combustíveis	-	-	-	-	-	-	-	-	5-10	-	-	-	-	-
Sujeira/Poeira	-	-	-	-	-	-	8,6	-	-	-	-	-	-	0,79
Fibras/Tecidos/Esponjas	1,61	-	-	-	-	10,5	7	-	-	-	-	10-40	42	-
Finos (solo/areia) /materiais inertes	4,88	-	13	61,6	25-75	6,1	-	-	15-20	35	-	-	-	-
Espuma (PU, PS, borracha)	-	-	15	-	-	3,3	42,9	35,3	-	-	-	-	4,4	8,89
Vidro	0,8	16	-	-	-	-	2	-	5-10	-	20-40	-	3,5	-
Metais	-	-	3	5,6	-	-	6,4	8,8	2-7	-	-	-	-	2,74
Diversos	2,73	4	3	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	24,1
Umidade	-	-	-	-	2-35	-	-	-	6-25	-	-	-	-	-
Plásticos (duros, macios)	6,06	41	33	21,2	15-20	29	8,6	11,7	20-30	20	40-70	19-31	19,3	13,8
Borrachas/elastômeros/pneus	2,34	21	18	11,6	-	9,7	2,7	2,6	10-20	20	-	10-30	5,3	2,28
Têxteis (ex. carpetes, panos, couros)	8,96	10	7	-	-	-	4,1	36,1	-	25	-	-	3,1	7,72
Vinil e couro	-	-	-	-	-	-	13,3	-	-	-	-	-	-	-
Fiação (ex. cabos de Cu/materiais elétricos e cerâmicos)	-	3	5	-	-	0,7	-	4,7	-	-	-	-	2,1	1,52
Madeira/papel/papelão	0,47	-	3	-	15-20	5,6	4,4	-	-	-	-	2-5	10,8	0,79

Fonte: HARDER e FORTON (2007).

<sup>a</sup> (KAKIMOTO *et al.*, 2004)<sup>b</sup> (MIRABILE *et al.*, 2002)<sup>c</sup> (AMBROSE *et al.*, 2002)<sup>d</sup> (SAKAI, URANO e TAKATSUKI, 2000)<sup>e</sup> (DANIELS, JODY e BONSIGNORE, 1992)<sup>f</sup> (MARCO *et al.*, 2002)<sup>g</sup> (SAXENA *et al.*, 1995)<sup>h</sup> (LANOIR, TROUVE e DELFOSSE, 1997)<sup>i</sup> (BOUGHTON e HORVATH, 2006)<sup>j</sup> (GALVAGNO *et al.*, 2001)<sup>k</sup> (PASEL e WANZL, 2003)<sup>l</sup> (ZOLEZZI *et al.*, 2004)<sup>m</sup> (DAS *et al.*, 1995)<sup>n</sup> (FORTON, HARDER e MOLES, 2006)

As referências utilizadas na Tabela 2.3 apresentam dados de trituradores de sucata instalados em outros países. Desta forma, é importante destacar que estes dados foram gerados a partir de uma alimentação distinta dos trituradores de sucata em operação no Brasil.

MIRABILE *et al.* (2002), reportaram em seus dados a composição físico-química do RTS, conforme apresentado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4. Composição físico-química do RTS.

<b>Elemento</b>	<b>(% massa)</b>	<b>Elemento</b>	<b>(%massa)</b>		
C	49,5	P	0,7	Fe (%)	25,7
H	5,3	Cr	0,08	Ti (%)	0,9
O	6,9	Cu	1,2	H <sub>2</sub> O (%)	2,2
N	4,5	Zn	1,9	Cinzas (%)	36,2
Cl	0,5	Ni	0,07	Matéria volátil (%)	54,18
S	0,2	Pb	0,2	Poder Calorífico (kJ/kg)	16720
F	0,05	Si	2,1	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	359

Fonte: MIRABILE *et al.* (2002).

Na Tabela 2.5 são apresentados dados comparativos dos teores de matéria volátil, cinzas, temperatura de combustão inicial e temperatura de máxima perda de massa para um carvão de referência, um carvão com pouca quantidade de cinzas (A), um carvão com alta volatilidade (B), um carvão com baixa volatilidade (C) e uma amostra de RTS. O RTS apresenta quantidades de matéria volátil e cinzas superiores aos carvões convencionais. A temperatura de combustão inicial (300 °C) do RTS é inferior à dos carvões em análise. É importante salientar que a temperatura de máxima perda de massa do RTS é obtida a 350 °C, enquanto para os carvões, esta temperatura está entre 530 e 550 °C (MIRABILE *et al.* 2002).

Tabela 2.5. Dados comparativos do RTS com diferentes carvões.

<b>Amostras</b>	<b>Matéria volátil (% massa)</b>	<b>Cinzas (% massa)</b>	<b>Temperatura de combustão inicial (°C)</b>	<b>Temperatura de máxima perda de massa (°C)</b>
Carvão de referência	24,9	10,1	310	530
A (poucas cinzas)	17,8	4,8	400	550
B (alta volatilidade)	28,5	9,3	310	540
C (baixa volatilidade)	11,7	10,7	370	550
RTS	54,2	36,2	300	350

Fonte: MIRABILE *et al.* (2002).

O RTS possui todas as características de uma cadeia de resíduos complexa, o que torna o seu tratamento e reaproveitamento um processo um tanto difícil. Embora o RTS seja gerado

em grande quantidade, e esteja disponível para prover a alimentação segura de um determinado processo (JOHNSON e WANG, 2002; ROBSON e GOODHEAD, 2003; BORJESON *et al.*, 2000; GALVAGNO *et al.*, 2001; AMBROSE, 2000; SENDIJAREVIC *et al.*, 1997; TONN *et al.*, 2003), apresenta quantidades de enxofre, cloro (LUNDQVIST *et al.*, 2004), metais pesados (LOHSE, SANDER e WIRTS, 2001; SANDER, LOHSE e PIRNTKE, 2000; GEARHART *et al.*, 2003) e óleos contaminados (COLLINS *et al.*, 2002). Não apenas a presença destes compostos, mas a sua variação (DAY, GRAHAM e LACHMANSINGH, 1993; FORTON, HARDER e MOLES, 2006; JODY e DANIELS, 1991), tornam a utilização deste resíduo em um processo termoquímico um grande desafio.

### 2.2.1 Alternativas de tratamento e destinação do RTS

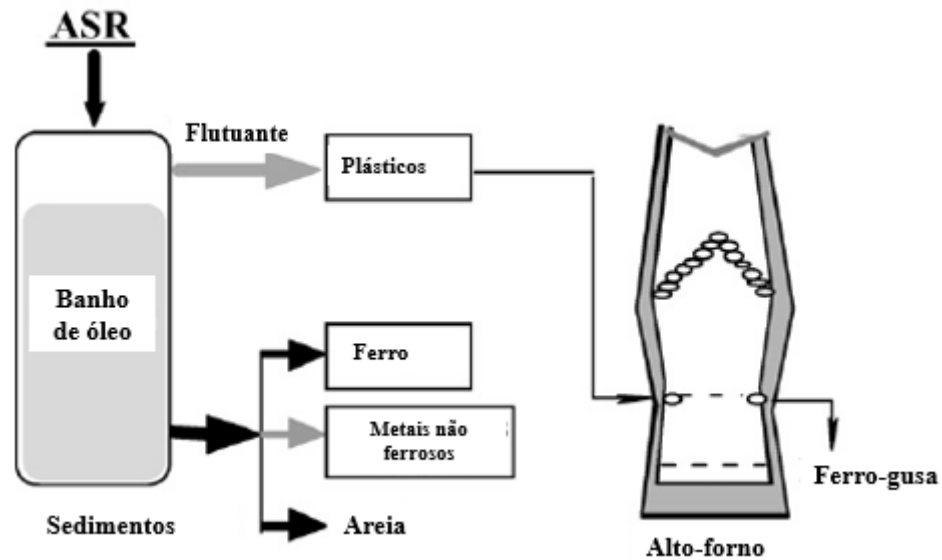
A rota convencional para o tratamento do RTS é determinada por práticas utilizadas para a reciclagem de metais. As fases do processo podem incluir um pré-tratamento/descontaminação do resíduo para posterior trituração (NOURREDDINE, 2007).

Em países como a Alemanha, o pré-tratamento consiste na remoção dos para-choques, “*air bags*”, baterias, tanques de combustível e pneus (KELLER, 2003).

Dentre as técnicas que têm sido investigadas para o reaproveitamento do RTS, encontram-se a recuperação de energia em incineradores e a utilização em altos-fornos, além do emprego em fornos cimenteiros (NOURREDDINE, 2007).

UENO *et al.* (2002) desenvolveram o processo chamado *Thermo bath* para a reciclagem do RTS. O processo consiste no aquecimento indireto do resíduo em um banho de óleo a 280°C. A composição detalhada do resíduo foi apresentada pelos autores (26% de areia, 3% de cobre, 4% de ferro, 67% de polímeros e 1,3% de cloro). Os constituintes do RTS são separados por diferença de massa específica, de forma que os polímeros são removidos no topo do equipamento, enquanto o metal é removido na base. Os polímeros podem alimentar o alto-forno como um agente redutor, enquanto os metais podem ser reciclados, conforme Figura 2.3.

Figura 2.3. Processo *Thermo-bath*.



Fonte: Adaptado de NOURREDDINE (2007).

A partir desta investigação, uma planta piloto foi construída no Japão, onde experimentos foram conduzidos para a separação das fases (polímeros/metais). Os resultados obtidos na planta piloto indicaram que aproximadamente 65% do resíduo foi removido no topo, enquanto em torno 24% do resíduo foi removido na base do equipamento.

Para NOURREDDINE (2007), a injeção de polímeros em um alto-forno não é apenas tecnicamente viável, mas também lucrativa. Resíduos poliméricos têm sido testados por sua potencialidade como agentes redutores no alto-forno, como substitutos do coque ou do óleo. Duas empresas, Stahlwerke Bremen na Alemanha e NKK (Nihon Kokan Kabushiki Kaisha) no Japão, têm adicionado resíduos poliméricos em seus altos-fornos.

Para ser injetado no alto-forno, o polímero precisa ter dimensões adequadas. As dimensões das partículas do polímero a ser injetado no alto-forno são ajustadas por moagem ou peletização. A degradação térmica dos polímeros no interior do alto-forno produzirá gases redutores ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ), que reagem com o minério de ferro (OGAKI *et al.*, 2001).

Corroborando com NOURREDDINE (2007), os pesquisadores LUEGEN e SCHMOELE (2003), acreditam que o processo de alto-forno pode ser ecologicamente e economicamente apropriado para reciclar materiais residuais beneficiados com suficiente potencial energético. Segundo os autores, o RTS pode ser injetado em um alto-forno como um combustível auxiliar. Todavia, determinados parâmetros devem ser considerados. Estes parâmetros incluem: propriedades físicas, composição química e uma quantidade de RTS necessária para manter uma alimentação contínua. LINDENBERG *et al.* (1996) reportou

algumas especificações técnicas recomendadas para que o RTS possa ser injetado no alto-forno: tamanho de partícula (<10mm), fração de finos menor que 250µm (<1%), umidade residual (< 1%), cloro (< 2%), cinzas (< 4,5%) e metais (< 3%).

### 2.2.2 Tratamento termoquímico do RTS

Dentre as possíveis rotas para o tratamento do RTS encontra-se o processo de pirólise. A pirólise é um tratamento térmico conduzido a temperaturas moderadas e na ausência de oxigênio, onde a matéria orgânica volátil do resíduo é decomposta em três frações (sólida, líquida e gasosa). Os componentes inorgânicos (metais, vidros, etc.) podem ser recuperados e reutilizados, posteriormente.

Amostras de diferentes RTS gerados por companhias siderúrgicas Norte Americanas e Européias foram testadas em uma planta piloto de pirólise operando sob vácuo. Os ensaios foram conduzidos em temperaturas que variaram de 496 a 524 °C e a uma pressão total variando de 1,2 a 1,7 kPa. O processo gerou aproximadamente 52,5% de resíduo sólido, 27,7% de líquidos orgânicos, 13,2% de água e 6,6% de gás (ROY e CHAALA, 2001).

A presença de cloro e bromo no resíduo é indesejável. A eliminação destes elementos é a maior preocupação no desenvolvimento de processos de tratamento térmico de polímeros. A pirólise é uma opção atrativa porque reduz a corrosão e a emissão de enxofre, cloro, dioxinas policloradas e furanos. O processo de pirólise reduz a taxa de formação do NO<sub>x</sub> (mecanismo NO<sub>x</sub> térmico-*thermal NO<sub>x</sub>*), devido a sua baixa temperatura de operação (GUO *et al.*, 2012). A presença de cloro no polímero ocasiona a produção de gases ácidos (em especial HCl) no gás não-condensável produzido durante o processo de pirólise. A presença do óxido de cálcio (CaO) no processo pode reduzir a presença destes gases ácidos, de acordo com a Equação 2.1.



Além disto, o óxido de cálcio (CaO) tem sido usado em processos de pirólise para a captura *in situ* do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente no gás não-condensável. WANG *et al.* (2010) afirmam que o CaO é extremamente efetivo no aumento do poder calorífico do gás não-condensável produzido na pirólise. Para temperaturas inferiores a 600 °C uma grande quantidade de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, produzidos ao longo da pirólise, reage segundo as seguintes reações:





A distribuição dos produtos (sólido, líquido e gás) do processo de pirólise depende não apenas da composição da alimentação, mas também da temperatura, do tempo de residência e do gás de arraste utilizado (DAY, SHEN e COONEY, 1999). Na Tabela 2.6 são apresentadas distribuições dos produtos obtidos a partir da pirólise do RTS.

Tabela 2.6. Distribuição dos produtos de pirólise do RTS.

	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Sólido (%)</b>	<b>Líquido (%)</b>	<b>Gás (%)</b>	<b>Referência</b>
Pirólise Convencional	550	30,00	40,00	12 + (18% de água)	GALVAGNO <i>et al.</i> (2001)
Pirólise Convencional/reator tubular	500	47,50	35,00	7,70	ZOLEZZI <i>et al.</i> (2004)
	600	37,50	43,00	5,80	ZOLEZZI <i>et al.</i> (2004)
	700	33,00	55,00	8,50	ZOLEZZI <i>et al.</i> (2004)
	800	25,00	58,00	12,20	ZOLEZZI <i>et al.</i> (2004)
	500-800	~35,00	40,00	20,00	PASEL e WANZL (2003)
Reator de parafuso comercial	500	43,00	31,00	26,00	DAY, SHEN e COONEY (1999)
Forno de pirólise rotativo	550	59,28	19,52	4,23	GALVAGNO <i>et al.</i> (2001)
	600	44,55	32,62	9,04	GALVAGNO <i>et al.</i> (2001)
	680	43,57	20,07	13,00	GALVAGNO <i>et al.</i> (2001)
Pirólise à vácuo	496-536	52,50	27,70	6,6 (13,3% água)	ROY e CHAALA (2001)
Autoclave (RTS pesado- 6,1 % de materiais finos, incluindo solo)	500	39,40	29,00	31,60	MARCO <i>et al.</i> (2002)
Autoclave (RTS leve-75% de materiais finos, incluindo solo)	500	63,60	10,30	26,10	MARCO <i>et al.</i> (2002)
Pirólise rápida	700-850	58-68,00	4-12,00	13-23,00	SHEN <i>et al.</i> (1995)
	500	55,00	25,70	5,80	ZOLEZZI <i>et al.</i> (2004)
	600	52,30	30,00	11,50	ZOLEZZI <i>et al.</i> (2004)
	700	39,00	24,20	24,10	ZOLEZZI <i>et al.</i> (2004)
	800	37,00	21,80	34,00	ZOLEZZI <i>et al.</i> (2004)
Pirólise em um reator de quartzo cilíndrico de leito fixo	500	37,00	48,00	15,00	ANZANO <i>et al.</i> (2017)
	600	29,00	46,00	25,00	ANZANO <i>et al.</i> (2017)
	700	22,00	42,00	36,00	ANZANO <i>et al.</i> (2017)
	800	15,00	39,00	46,00	ANZANO <i>et al.</i> (2017)

Fonte: Adaptado de HARDER e FORTON, 2007.

Para um processo de conversão termoquímica, uma característica importante da matéria-prima é o seu poder calorífico. Um resumo dos valores reportados na literatura foi mostrado por HARDER e FORTON (2007), e é apresentado na Tabela 2.7.

Tabela 2.7. Poder calorífico reportado para o RTS.

<b>Poder Calorífico Superior (MJ/kg)</b>	<b>Referência</b>
26,0	BORJESON <i>et al.</i> (2000)
6,7-0,7	ROY e CHAALA (2001)
19,0	LANOIR <i>et al.</i> (1997)
4,4-18,2	ZOLEZZI <i>et al.</i> (2004)
39,9-41,1	MARCO <i>et al.</i> (2002)
1,7	GALVAGNO <i>et al.</i> (2001)
16,7	MIRABILE <i>et al.</i> (2002)
28,3	RAUSA e POLLESEL (1997)

Fonte: HARDER e FORTON (2007).

Segundo a Tabela 2.7 é possível verificar que existem variações significativas no poder calorífico do RTS (de 1,7 a 41,1 MJ/kg). HARDER e FORTON (2007) atribuíram estas diferenças em função dos diferentes tipos de carros (carros modernos possuem mais polímeros) e das misturas de sucatas na alimentação do próprio triturador.

DE MARCO *et al.* (2007) estudaram dois tipos de amostra provenientes de uma planta industrial de RTS automotivo da Espanha. Os autores consideraram o RTS leve como sendo a fração leve separada do produto total na primeira etapa, representando 19% em massa do RTS total e o RTS pesado, a fração após os metais não ferrosos serem magneticamente removidos da corrente (cerca de 9% em massa do produto total). Uma classificação manual dos componentes do RTS foi realizada em uma etapa inicial. A partir dos resultados foi possível identificar que no RTS leve há uma fração de 75% (em massa) composta principalmente por solo, enquanto no RTS pesado, esta fração é de apenas 6,1% em massa.

Na Tabela 2.8 são apresentados os resultados da análise elementar e do poder calorífico para as frações estudadas pelos autores. Para a realização das análises, os autores cominuíram um quilograma de cada RTS (leve/pesado) e o diâmetro das partículas foi inferior a 100  $\mu\text{m}$ . O RTS leve apresentou uma grande quantidade de compostos inorgânicos, e conseqüentemente um baixo poder calorífico, enquanto o RTS pesado, composto principalmente por materiais orgânicos, apresentou poder calorífico mais elevado.

Tabela 2.8. Composição (% massa) e poder calorífico das amostras de RTS.

	<b>RTS leve</b>	<b>RTS pesado</b>
C	29,7	70,9
H	4,0	6,4
N	1,0	1,2
S	0,6	0,9
Inorgânicos <sup>a</sup>	55,8	18,6
Outros <sup>b</sup>	8,9	2,0
Poder Calorífico total (MJ/kg)	12,7	29,0

Fonte: DE MARCO *et al.* (2007).

<sup>a</sup> Determinado por análise termogravimétrica em atmosfera de O<sub>2</sub>.

<sup>b</sup> Calculado por diferença.

DE MARCO *et al.* (2007) conduziram seus experimentos de pirólise a 400, 500 e 700 °C sob atmosfera de nitrogênio (N<sub>2</sub>). Os autores inseriram 100 g de RTS (leve e pesado) em uma autoclave, e utilizaram um fluxo de 1 L/min de gás inerte (N<sub>2</sub>). O sistema foi aquecido a uma taxa de aquecimento de 15 °C/min até a temperatura desejada, e mantido a esta temperatura por 30 minutos. Os rendimentos foram determinados, e uma vez que os líquidos de pirólise continham uma fase orgânica e uma fase aquosa, uma centrifugação foi realizada com o intuito de separar a fase aquosa, e em seguida a fase orgânica foi caracterizada.

Para os experimentos conduzidos com o RTS pesado, os rendimentos de *char* foram quase equivalentes nas temperaturas de 500 e 700 °C (25,6 e 24,2%, respectivamente) e, por conseguinte, pode-se concluir que a 500 °C a pirólise já estava completa. Com relação ao poder calorífico dos sólidos (*char*), os valores variaram entre 5,2 e 22,66 MJ/kg, e foram considerados relativamente baixos para os sólidos produzidos a partir do RTS leve (entre 5,2 e 7,99 MJ/kg), devido à quantidade elevada de substâncias inorgânicas contidas nestes sólidos. Nos sólidos produzidos a partir do RTS pesado, os inorgânicos correspondem aos metais, e estes podem ser magneticamente separados, assim deixando-os com um maior poder calorífico (aproximadamente 30 MJ/kg). Segundo os autores, uma possível aplicação para o sólido produzido no processo de pirólise do RTS pesado (*char*) seria como carvão ativado. Já a matéria inorgânica dos sólidos (*char*) produzidos a partir da pirólise com o RTS leve corresponde principalmente ao solo, e as sujidades da amostra original. Desta forma, a separação da referida matéria inorgânica é muito mais difícil. Assim, para os autores, os sólidos da pirólise produzidos a partir do RTS leve, podem ser considerados como resíduos sem utilização.

Para XU *et al.* (1995), DUTTA *et al.* (1997) e BAREEL *et al.* (2004) o *char* obtido a partir da pirólise do RTS pode ser empregado como carga no concreto, asfalto e em polímeros, devido a fração mais fina deste material (menor que 250 µm) conter minerais, metais e orgânicos.

Indústrias com potencial para utilizar o *char* de pirólise do RTS incluem a indústria de ferro, aço e cimento (LOHSE, SANDER e WIRTS, 2001; SANDER, LOHSE e PIRNTKE, 2000; BOUGHTON e HORVATH, 2006; BOUGHTON, 2006; FINK, 1999). No entanto, as mesmas apresentam restrições a presença de alguns metais e do cloro (LOHSE, SANDER e WIRTS 2001; SANDER, LOHSE e PIRNTKE 2000). A Tabela 2.9 apresenta um resumo das concentrações de metais presentes no *char* de pirólise do RTS, enquanto a Tabela 2.10 apresenta as concentrações de cloro para o RTS.

Tabela 2.9. Concentrações de metais nos resíduos sólidos (*char*) provenientes da pirólise do RTS (% em massa).

<b>Elemento</b>	<b>GALVAGNO <i>et al.</i> (2001)</b>	<b>TROUVE, KAUFFMANN e DELFOSSE 1998</b>
Pb	0,30-0,35	0,24
Zn	0,43-0,67	0,89
Cd	0,003-0,007	-
Cr	0,015-0,020	-
Cu	0,72-4,88	1,88
Ni	0,01-0,015	-
Fe	2,36-2,7	4,29
Al	0,62-4,88	-
Hg	0,0002-0,0004	-
Co	0,18-4,08	-
Ca	-	-
V	-	-
Mn	-	-

Fonte: HARDER e FORTON (2007).

Tabela 2.10. Concentrações de cloro no RTS.

<b>Concentração de cloro (%massa)</b>	<b>Referência</b>
0,54	GALVAGNO <i>et al.</i> (2001)
2-5	PASEL e WANZL (2003)
0,2	ZOLEZZI <i>et al.</i> (2004)
3,7	TROUVE, KAUFFMANN e DELFOSSE 1998
3,5	LANOIR <i>et al.</i> (1997)
0,31	PERA, AMBROISE e CHABANNET 2004

Fonte: HARDER e FORTON (2007).

Para a indústria cimenteira a concentração de metais contaminantes remanescentes no *char* do RTS é geralmente excessiva (SANDER, LOHSE e PIRNTKE, 2000; BOUGHTON e HORVATH, 2006; BOUGHTON, 2006). As concentrações de cloro constituem uma dificuldade. Em geral, a principal fonte de cloro são os polímeros (PVC). Uma forma de reduzi-los é removendo-os durante ou antes do processo de trituração. Segundo OGAKI (2001), uma

forma de separação do PVC dos demais polímeros, poderia ser feita por centrifugação. A pirólise é tratada como uma das possibilidades de desalogenação. Ela é dividida em três grupos: pirólise em estágios, pirólise catalítica e co-pirólise com adsorventes. Durante a pirólise em estágios, uma etapa com baixa temperatura é conduzida a fim de remover o cloro das amostras originais, na forma de HCl; em seguida a pirólise é conduzida de maneira convencional (BOCKHORN *et al.* 1999; HORNUNG *et al.* 1999). Na pirólise catalítica, alguns catalisadores com base metálica possuem potencial duplo, exercendo as funções de catalisadores e redutores de emissão de HCl. A co-pirólise com adsorventes pode reduzir a emissão de HCl, uma vez que o HCl é retido por adsorção físico-química e mantido na fração sólida. Neste caso, alguns materiais renováveis tais como biomassas (KURAMOCHI *et al.*, 2008; FONTANA *et al.*, 2000), e adsorventes alcalinos ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ) (BECKMANN *et al.*, 2001), tem sido utilizados como adsorventes de HCl.

Em geral, a fração líquida produzida no processo de pirólise é composta de duas fases: aquosa e orgânica (usualmente denominada óleo). Algumas referências relatam quantidades significativas de água na fração líquida (em alguns casos superiores a 50%) (DAY e SHEN, 1997; ROY e CHAALA, 2001; ROY, CHAALA e DE LAET, 1996). A umidade (% massa), a composição elementar (% massa) e o poder calorífico dos óleos de pirólise (vapores condensáveis) obtidos por DE MARCO *et al.* (2007), são apresentadas na Tabela 2.11.

Tabela 2.11. Umidade (% massa), composição elementar (% massa) e poder calorífico dos óleos de pirólise.

	ASR leve			ASR pesado		
	400 <sup>a</sup>	500 <sup>a</sup>	700 <sup>a</sup>	400 <sup>a</sup>	500 <sup>a</sup>	700 <sup>a</sup>
Umidade	70,3	53,2	60,2	18,2	11,2	15,6
C	-	81,1	82,9	85,2	86,1	86,8
H	-	9,6	8,9	10,4	9,4	8,8
N	-	1,5	1,6	1,1	1,0	1,9
S	-	0,4	0,2	0,3	0,4	0,4
Outros <sup>b</sup>	-	7,4	6,4	3,0	3,1	2,1
H/C	-	1,42	1,29	1,46	1,31	1,22
Poder Calorífico (MJ/kg)	-	40,07	38,89	41,62	40,92	40,29

Fonte: DE MARCO *et al.* (2007).

<sup>a</sup> Temperatura (°C)

<sup>b</sup> Calculado por diferença.

A fase orgânica dos líquidos de pirólise é um produto de cor castanho-escuro. A partir dos resultados apresentados na Tabela 2.11, é possível identificar que tais óleos são compostos principalmente de C e H, e ainda que o poder calorífico é elevado (aproximadamente 40 MJ/kg). De acordo com DE MARCO *et al.* (2007), no que diz respeito ao efeito de temperatura, não há

nenhuma variação significativa da composição dos líquidos de pirólise. Um estudo preliminar da composição dos óleos de pirólise a partir do RTS pesado foi realizado por cromatografia gasosa/espectroscopia de massa (CGMS). A análise por CGMS mostrou que os óleos possuem uma grande quantidade de compostos aromáticos (benzeno/metil-benzeno/alquil-benzenos/naftaleno/fenantreno). A presença destes compostos pode estar associada à natureza dos materiais poliméricos, e das reações de recombinação que ocorrem entre os fragmentos aromáticos e alifáticos. Os autores também identificaram a presença de vários compostos oxigenados (álcoois, éteres, cetonas, aldeídos, etc.), e alguns componentes clorados.

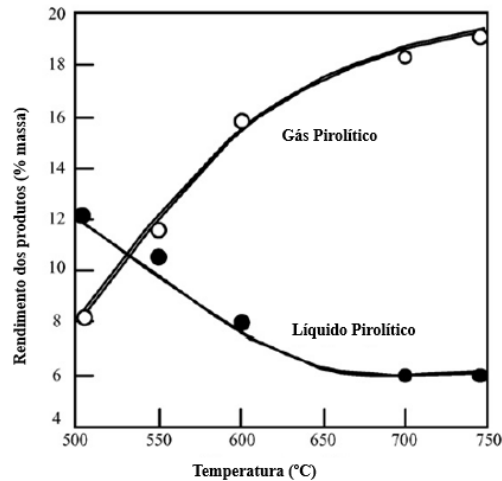
Com relação à composição volumétrica e o poder calorífico do gás combustível produzido na pirólise do RTS leve e pesado não houveram diferenças significativas. A característica mais relevante do gás combustível é a grande quantidade de CO (entre 55,6 -72,2 % vol.) e CO<sub>2</sub> (entre 8,7 e 16,4 % vol.) obtida, proveniente dos polímeros oxigenados (poliésteres, policarbonatos, poliuretanos), e até mesmo da matéria inorgânica, tais como cargas (*fillers*) de carbonato presentes em polímeros automotivos, especialmente a altas temperaturas (700 °C). Outras referências também reportam proporções significativas de CO e CO<sub>2</sub> na pirólise de RTS (ZOLEZZI *et al.*, 2004; GALVANO *et al.*, 2001; ROY e CHAALA, 2001; DAY, SHEN e COONEY, 1999). Em relação ao efeito da temperatura, houve uma diminuição da concentração de CO com o aumento da temperatura, enquanto ocorreu um incremento dos hidrocarbonetos leves (metano/eteno). O referido comportamento está de acordo com os resultados apresentados por DAY, SHEN e COONEY 1999. O poder calorífico é elevado para ambos os gases (produzidos pelo RTS leve e pesado, sendo eles 21 e 32 MJ/Nm<sup>3</sup>, respectivamente). Estes valores estão de acordo com os resultados obtidos por outros autores (ZOLEZZI *et al.*, 2004; GALVANO *et al.*, 2001; ROY e CHAALA, 2001; DAY, SHEN e COONEY, 1999; ROY, CHAALA e DE LAET, 1996). Para fins de comparação o gás natural tem um poder calorífico de aproximadamente 35 MJ/Nm<sup>3</sup>.

DAY e SHEN (1997) realizaram uma pesquisa em relação a reciclagem térmica do RTS. As quantidades de cinzas (inorgânicos) variavam de 8% a 58%, semelhante ao RTS leve proposto por DE MARCO *et al.* (2007). Outras referências também relatam que estes resíduos podem ter elevados teores de inorgânicos (ZOLEZZI *et al.*, 2004; GALVANO *et al.*, 2001; ROY e CHAALA, 2001; DAY, SHEN e COONEY, 1999).

DAY, SHEN e COONEY 1999, pirolisaram o RTS automotivo em um forno rotativo de escala laboratorial (100 g/h) com temperaturas entre 500 e 750 °C. Os experimentos indicaram que a fração sólida apresentou o maior rendimento, sendo influenciada pela temperatura do processo de pirólise. A Figura 2.4 mostra o comportamento do rendimento do

gás pirolítico e da fração líquida em função da temperatura do processo de pirólise do RTS automotivo.

Figura 2.4. Rendimento do gás combustível e da fração líquida no processo de pirólise do RTS automotivo.

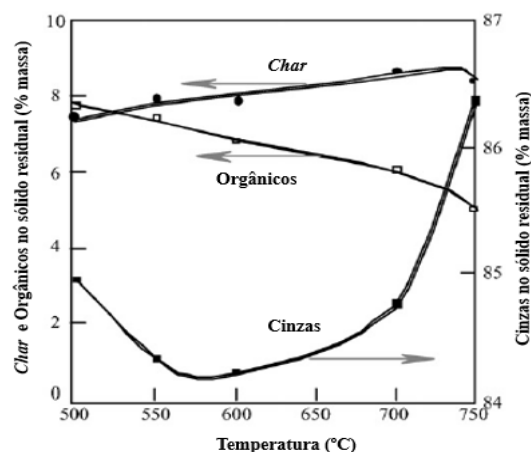


Fonte: DAY, SHEN e COONEY 1999 apud NOURREDDINE (2007).

Pode ser observado que o gás aumenta de 8% a 500 °C para aproximadamente 20% a 750 °C. Os produtos líquidos gerados a partir do processo em forno rotativo são maiores a baixas temperaturas. Isto se deve em função das reações de cisão em cadeia ocorrerem a altas temperaturas gerando um produto gasoso com baixo peso molecular.

A fração sólida do processo de pirólise é composta de três fases: orgânica, sólido carbonoso (*char*) e inorgânica. O comportamento das referidas fases em função das temperaturas é mostrado na Figura 2.5.

Figura 2.5. Comportamento do *char*, orgânicos e cinzas.



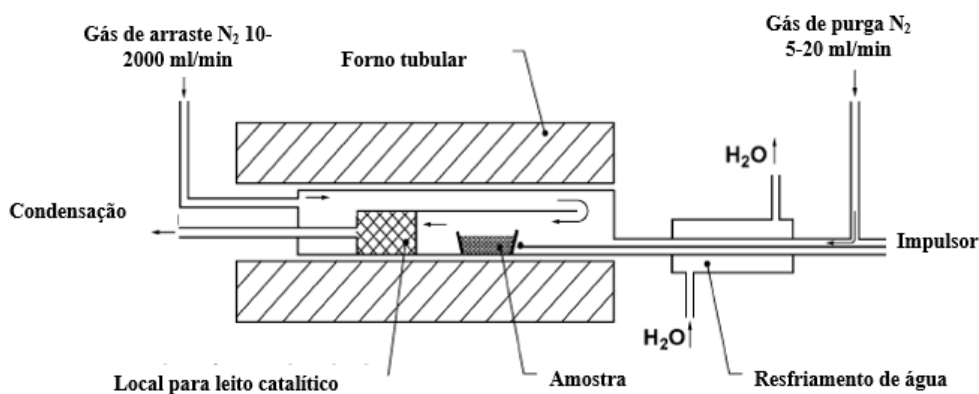
Fonte: DAY, SHEN e COONEY (1999) apud NOURREDDINE (2007).



Pode ser visto que a fase orgânica diminui, enquanto a quantidade de cinzas aumenta, de acordo com o incremento da temperatura. No entanto, o sólido carbonoso permanece relativamente constante (entre 7 e 9%) com a variação da temperatura (DAY, SHEN e COONEY, 1999).

PASEL e WANZL (2003) conduziram experimentos com RTS automotivo em dois diferentes reatores (pirolisador Curie-point e reator tubular). Os parâmetros utilizados para o pirolisador Curie-point foram: pressão (1-100 bar), temperatura (500-950 °C) e taxa de aquecimento (~6000 K/s), enquanto para o reator tubular foram: pressão (1 bar), temperatura (500-800 °C) e taxa de aquecimento <1 K/s. O reator tubular é mostrado esquematicamente na Figura 2.6.

Figura 2.6. Esquema do reator tubular.



Fonte: Adaptado de PASEL e WANZL (2003).

Para que os ensaios fossem realizados, o reator era aquecido até a temperatura final desejada, e em seguida a amostra era introduzida através de um impulsor. O referido procedimento permitiu que a amostra não fosse submetida a etapa de aquecimento do reator. Como pode ser observado na Figura 2.6, a corrente de gás é resfriada na saída do reator em uma seção de condensação. A seção de craqueamento neste reator pode também ser preenchida com catalisadores.

Os autores atribuíram os altos rendimentos de líquidos a partir da pirólise com o pirolisador Curie-point (taxas de aquecimento rápidas), aos produtos da decomposição primária. Da mesma forma, uma taxa de aquecimento baixa (reator tubular) favoreceu o craqueamento e a recombinação, que levaram a rendimentos de *char* e de gás significativamente mais elevados.

Alguns processos de pirólise de polímeros já vêm sendo conduzidos em escala industrial (TUKKER *et al.*, 1999; MALKOW, 2004). AL-SALEM, LETTIERI e BAEYENS 2010 reportaram uma síntese das principais unidades pirolíticas e tecnologias em escala industrial envolvendo resíduos poliméricos. As informações disponibilizadas pelos autores são apresentadas na Tabela 2.12.

Tabela 2.12. Unidades pirolíticas e tecnologias em escala industrial.

<b>Tecnologia</b>	<b>Unidade de operação/País</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referência</b>
Processo Akzo	Leito fluidizado circulante (dois reatores) /Holanda	Apropriado para resíduos sólidos poliméricos (ricos em PVC). Capacidade de 30 kg/h (pirólise rápida).	TUKKER <i>et al.</i> (1999).
Tecnologia ConTherm®	Tambor rotativo/ Alemanha	Este processo pirolisa combustíveis triturados, tais como: resíduos sólidos municipais e RTS automotivo, assim como até 50% de polímeros pós-consumo a 500-550 °C (100 kt/ano).	MALKOW (2004).
Pirólise PKA	Tambor rotativo /Holanda	A tecnologia abrange um conceito de pirólise e gaseificação modular a altas temperaturas. O processo inicia com um estágio de pré-processamento que envolve separação, peneiramento e trituração de diferentes tipos de resíduos, tais como: resíduos sólidos municipais, resíduos sólidos automotivos, pneus usados, resíduos industriais e polímeros, assim como solo contaminado. A pirólise ocorre a 500-550 °C por aproximadamente 45-60min. O rendimento é um gás combustível rico em H <sub>2</sub> e CO.	MALKOW (2004).
Processo de craqueamento do polímero BP	Leito fluidizado circulante/ Escócia	Depois de uma série de pesquisas piloto (entre 1994 e 1998), uma planta foi estabelecida na Escócia com uma capacidade de 25.000 toneladas/ano. Um reator de leito fluidizado aquecido (operando a 500 °C) na ausência de ar é utilizado. Oitenta e cinco por cento em massa de plástico que entra no processo é conduzido para hidrocarboneto líquido e os 15% remanescentes são gases.	TUKKER <i>et al.</i> (1999).
Processo NKT	Leito fluidizado circulante/ Dinamarca	O processo é baseado em um estágio de pré-tratamento inicial que envolve a separação dos polímeros leves (PP, PE, etc.) e outros materiais como madeira, areia, ferro, aço, bronze, cobre e outros materiais poluentes.	TUKKER <i>et al.</i> (1999).

		O resíduo sólido plástico é então alimentado no reator a baixas pressões (2 a 3 bars) e a temperatura moderada (375 °C).	
--	--	--	--

Fonte: AL-SALEM, LETTIERI e BAEYENS 2010.

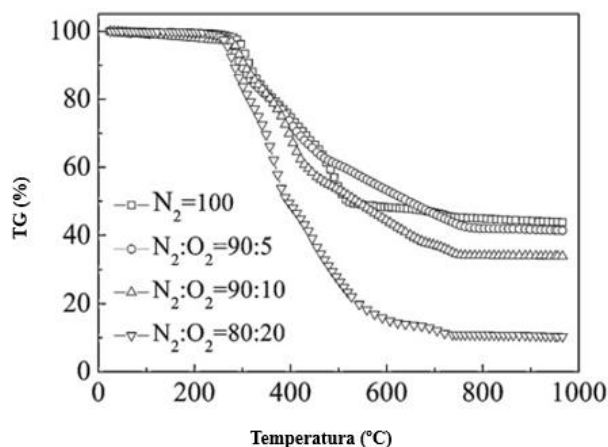
### 2.2.3 Degradação térmica do RTS

A análise térmica (TGA/DTG) é uma das técnicas mais comumente usadas para explorar as reações de decomposição de sólidos (REYES, CONESA e MARCILLA, 2001; CUESTA *et al.*, 2005). Neste contexto, GUO *et al.* (2012) analisaram a degradação térmica do RTS sob diferentes condições, utilizando a análise térmica (TG-MS). Os autores utilizaram amostras representativas de RTS, incluindo polipropileno (para-choques), poliuretano (teto do carro) e materiais de calafetagem. As amostras utilizadas nos experimentos possuíam diâmetro de partícula inferior a 0,1mm.

Para avaliar a degradação térmica foram utilizadas quatro atmosferas distintas de O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub> (100, 95, 90 e 80% de N<sub>2</sub>). Em todos os experimentos foi utilizado um fluxo de 100 mL/min. Os experimentos foram conduzidos sob uma taxa de aquecimento de 30 °C/min, desde a temperatura de 30 °C até a temperatura final de 1000 °C.

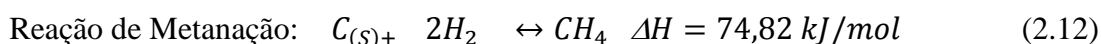
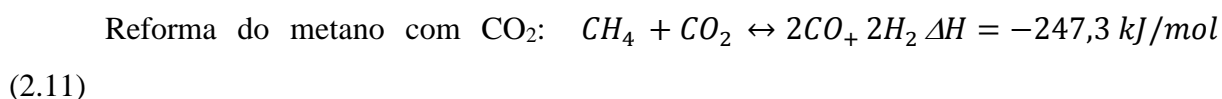
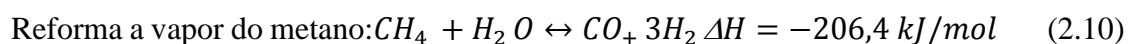
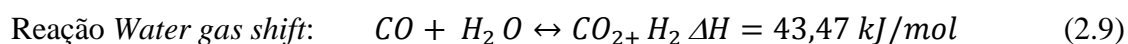
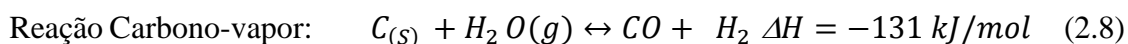
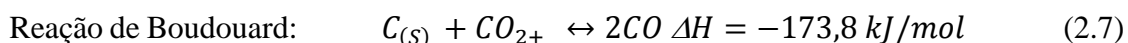
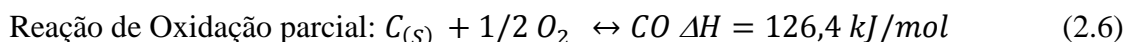
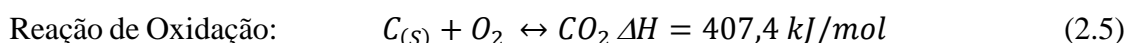
A partir da Figura 2.7 é possível observar que a perda de massa foi insignificante a temperaturas inferiores a 200 °C, atribuída à volatilização da água. A temperaturas superiores a 200 °C a taxa de reação aumentou com o incremento da concentração de oxigênio (gaseificação). Em todas as concentrações avaliadas, para temperaturas superiores a 700 °C a perda de massa é insignificante, indicando o final das reações de pirólise e gaseificação.

Figura 2.7. Análise térmica da degradação térmica (pirólise /gaseificação) do RTS.



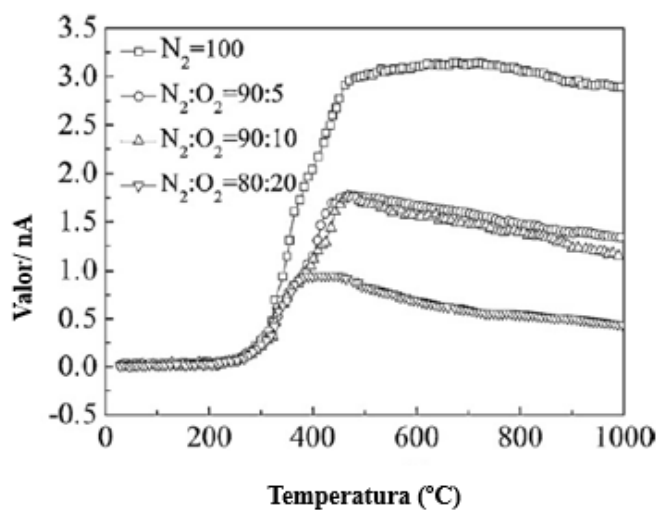
Fonte: Adaptado de GUO *et al.* (2012).

Para a análise dos processos de gaseificação as seguintes reações devem ser consideradas (RAY e THORPE, 2007):



A Figura 2.8 mostra que a produção de hidrogênio é favorecida em atmosfera inerte (pirólise). Para todas as concentrações avaliadas a produção de hidrogênio foi favorecida a temperaturas superiores a 470 °C. GUO *et al.* (2012) atribuíram o incremento da produção de hidrogênio com o aumento da temperatura as reações (2.8) e (2.11). Ainda, segundo os autores, o desafio para o processamento do RTS, seria aumentar a eficiência na produção do hidrogênio a partir do processo termo-oxidativo. Assim, os gases produzidos poderiam ser utilizados em muitas aplicações, tais como síntese química (gás de síntese), e na síntese de combustível (Fischer-Tropsch).

Figura 2.8. Produção de H<sub>2</sub> em função da temperatura sob diferentes atmosferas.

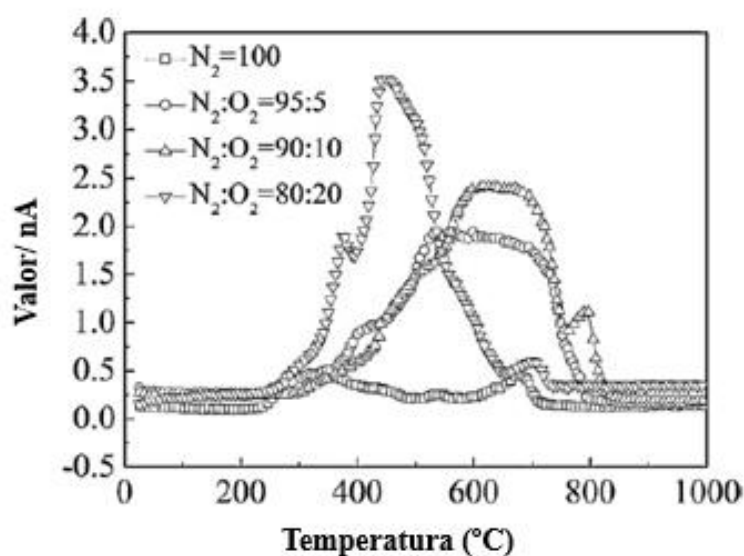


Fonte: Adaptado de GUO *et al.* (2012).

O metano é produzido no processo de fragmentação de compostos que contenham o grupo metila. Para o processo de pirólise um pico intenso de metano ocorre a 475 °C. GUO *et al.* (2012) observaram que a maior produção de metano ocorreu sob uma atmosfera inerte (100% N<sub>2</sub>).

Conforme a Figura 2.9 a produção de NO<sub>2</sub> é insignificante durante a pirólise (100% de N<sub>2</sub>). As concentrações de NO<sub>2</sub> aumentaram com o aumento da concentração de oxigênio.

Figura 2.9. Produção de NO<sub>2</sub> em função da temperatura sob diferentes atmosferas.



Fonte: Adaptado de GUO *et al.* (2012).

### 2.3 Tratamento termoquímico de polímeros

Devido a elevada presença de polímeros no RTS serão apresentados neste item alguns trabalhos relacionados a pirólise dos principais polímeros presentes no RTS.

Alguns polímeros podem ser parcialmente convertidos a seus monômeros precursores pelo tratamento térmico via pirólise (GONÇALVES, 2007). Na pirólise do poliestireno (PS) há a formação do seu monômero precursor (estireno), enquanto na pirólise do polietileno (PE) e o polipropileno (PP) há a formação de monômeros originais e hidrocarbonetos leves.

Foi reportado que a pirólise rápida do PS na faixa de temperatura entre 532 e 708 °C produz um líquido, constituído de aproximadamente 75% de estireno, junto com outros hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) (cerca de 10% de tolueno, etilbenzeno, propenilbenzeno, propinilbenzeno e naftaleno) (SCOTT *et al.*, 1990; WILLIAMS e WILLIAMS, 1999).

DEMIRBAS (2004, 2005) estudou o efeito da temperatura na pirólise do PS, fazendo uso de um reator tubular e temperaturas compreendidas entre 377 e 602 °C. O composto presente em maior quantidade foi o estireno, cuja concentração aumentou de 56,2 para 64,6% nos ensaios conduzidos nas temperaturas de 377 e 477 °C, respectivamente, diminuindo para o ensaio conduzido na temperatura de 602 °C para 49,6%.

No caso dos polietilenos de alta (PEAD) e de baixa densidade (PEBD), o principal produto de sua decomposição é um produto de óleos e ceras formados principalmente por alcenos, alcinos e alcadienos (WILLIAMS e WILLIAMS 1999).

O efeito do tempo de residência e da temperatura de pirólise na distribuição dos produtos de pirólise do PE foram estudados por MASTRAL *et al.* (2006) em dois reatores verticais de queda livre em série. Os experimentos mostraram que até a temperatura de 700 °C os principais produtos obtidos foram ceras e óleos; a quantidade de gás produzido aumentou com o incremento da temperatura (de 1,8 para 40,8%) nos experimentos conduzidos a 500 e 800 °C, respectivamente. A produção de aromáticos começou a ser significativa a 800 °C, e mostrou uma tendência de crescimento com a temperatura e com o tempo de residência. Os principais compostos na fração gasosa foram o hidrogênio (H<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o acetileno (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) nas temperaturas até 1000 °C. Maiores tempos de residência levaram a uma quebra mais intensiva das frações alifáticas, e as emissões de metano e etileno cresceram significativamente.

WESTERHOUT *et al.* (1997) avaliaram a pirólise de misturas de PE e PP com diferentes composições. Após comparação entre os resultados (da pirólise da mistura PE e PP e da pirólise individual de cada um dos polímeros), os autores não observaram interações significativas no processamento conjunto, considerando que os resultados obtidos com a mistura eram equivalentes à soma dos obtidos com os polímeros testados separadamente.

Outros trabalhos relacionados ao tratamento termoquímico de polímeros estão sendo investigados com o objetivo de produzir um gás rico em hidrogênio (AHMED e GUPTA, 2009; CZERNIK e FRENCH, 2006; NAMIOKA *et al.*, 2011; TONGAMP, ZHANG e SAITO, 2008, WU e WILLIAMS, 2009 (a), WU e WILLIAMS, 2009 (b)). O interesse na utilização de PE, PP e PS para este fim, está associado a presença das poliolefinas nos referidos polímeros, sendo estas uma excelente fonte de hidrogênio (ARTETXE *et al.* 2012).

#### 2.4 Mecanismos de degradação térmica dos principais polímeros presentes no RTS

Em geral, a degradação térmica de polímeros, através da pirólise, ocorre via mecanismo radicalar, e pode envolver três processos diferentes de decomposição. O primeiro processo ocorre através da quebra aleatória em qualquer ponto da estrutura do polímero, levando à

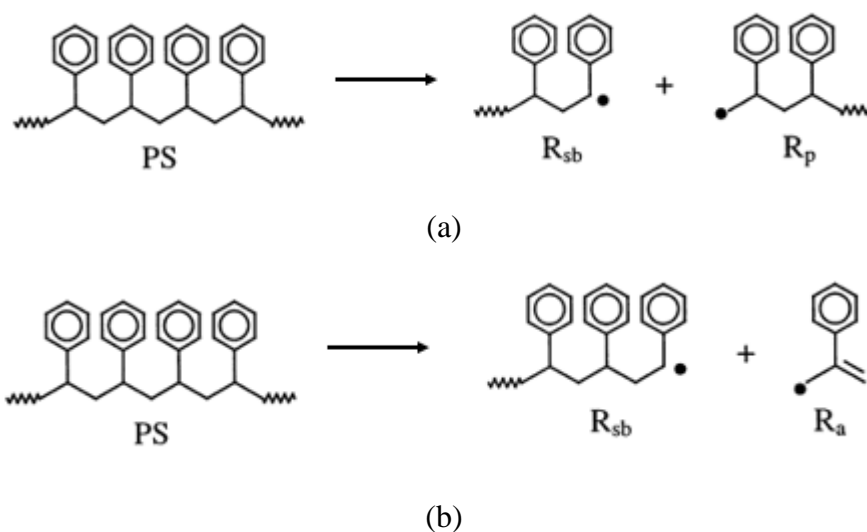
formação de polímeros como produtos primários, que poderão posteriormente sofrer reações de craqueamento aleatórias. O segundo processo ocorre através da quebra da cadeia nas suas extremidades, onde são formados tanto pequenos fragmentos, quanto cadeias longas de polímero. No terceiro processo, ocorre a separação de substitutos funcionais para formarem moléculas de baixa massa molar. Neste caso, a cadeia polimérica pode manter a sua extensão, ou a liberação das moléculas de baixa massa molecular pode ser acompanhada pela clivagem da cadeia polimérica. Além disto, durante a degradação térmica de polímeros outras reações podem ter lugar ao mesmo tempo que as reações de craqueamento, tais como: reações de isomerização, aromatização e, recombinação de espécies (COSTA, 2006).

#### 2.4.1 Poliestireno (PS)

A degradação térmica (pirólise) do poliestireno acontece através de um mecanismo de radicais livres iniciado por uma quebra aleatória da sua cadeia polimérica (AGRADO e SERRANO, 1999). Os radicais primários, secundários e terciários estão envolvidos em uma série de transformações, especialmente reações de transferência de hidrogênio e cisões  $\beta$ . O mecanismo de degradação térmica do poliestireno foi reportado por FARAVELLI *et al.* (2001), sendo apresentado a seguir.

Inicialmente ocorrem as reações de iniciação, que determinam a quebra da ligação C-C da cadeia polimérica para formar os radicais. Dois tipos de reação de iniciação podem ocorrer. A primeira envolve a quebra aleatória para formar um radical ( $R_p$ ) e um radical benzílico secundário ( $R_{sb}$ ) (Figura 2.10 (a)). A segunda, envolve a quebra na extremidade da cadeia para formar um radical benzílico secundário ( $R_{sb}$ ) e um radical alilo benzílico ( $R_a$ ) estável (Figura 2.10 (b)).

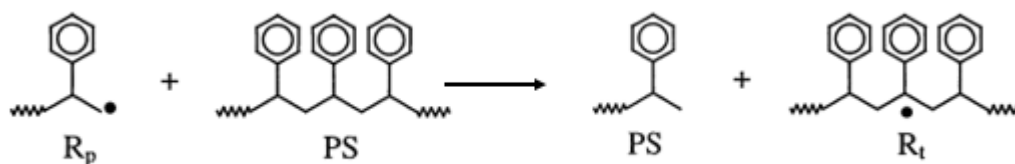
Figura 2.10. Reações de iniciação da degradação térmica do poliestireno.



Fonte: FARAVELLI *et al.* (2001).

Posteriormente, ocorrem as reações de propagação. As reações de propagação consistem na transferência de hidrogênio, seguida de decomposição na posição  $\beta$ . Existem dois tipos de reações de transferência de hidrogênio. Na primeira, os radicais removem o hidrogênio de uma molécula diferente, conforme pode ser visualizado através da Figura 2.11. Devido à elevada estabilidade dos radicais benzílicos formados, só é considerada a perda intermolecular do hidrogênio nos átomos de carbono terciários com a formação de radicais terciários ( $R_t$ ).

Figura 2.11. Etapa de propagação baseada na transferência de Hidrogênio (primeiro caso).

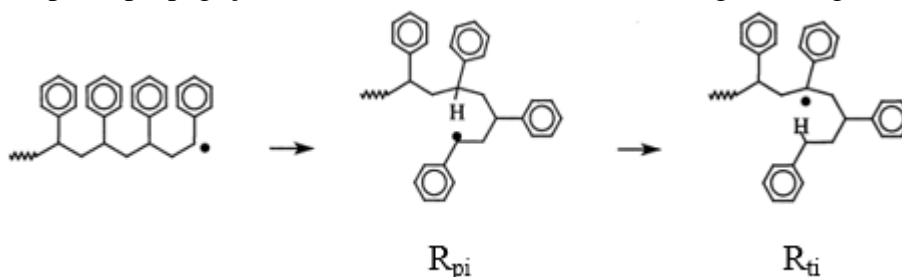


Fonte: FARAVELLI *et al.* (2001).

No segundo tipo de reação de transferência de hidrogênio (Figura 2.12), os radicais  $R_{sb}$  e  $R_p$  podem facilmente formar intermediários ( $R_{pi}$  e  $R_{ti}$ ) com cinco, seis ou sete anéis, tendo como resultado final as reações de isomerização 1-4, 1-5 ou 1-6.



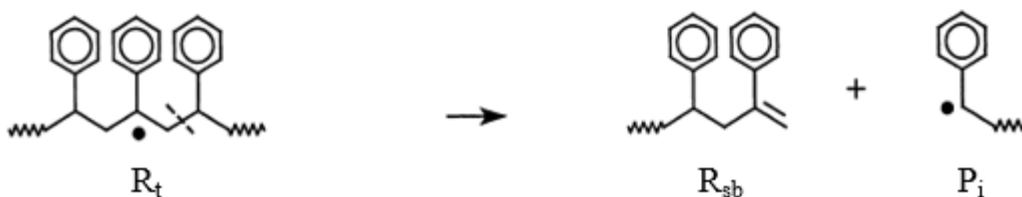
Figura 2.12. Etapa de propagação baseada na transferência de Hidrogênio (segundo caso).



Fonte: FARAVELLI *et al.* (2001).

Em seguida, ocorre uma reação de cisão (Figura 2.13). A reação de cisão da ligação C-C do radical terciário na posição  $\beta$  forma um radical secundário benzílico (Rsb) e uma espécie polimérica insaturada no final da cadeia (Pi).

Figura 2.13. Reação de cisão  $\beta$ .



Fonte: FARAVELLI *et al.* (2001).

Por fim, ocorre a decomposição na posição  $\beta$  dos radicais Rsb com a formação de um monômero (Estireno) e outro radical Rsb com menos uma unidade monomérica (R'sb) (Figura 2.14). Diversos trabalhos relativos à degradação térmica do poliestireno, reportam que o produto final obtido em maior concentração é o monômero estireno (WOO e BROADBELT, 2001; LEE *et al.*, 2002; PARK *et al.*, 2003; CHUMBHALE *et al.*, 2004).

Figura 2.14. Reação de decomposição na posição  $\beta$ .



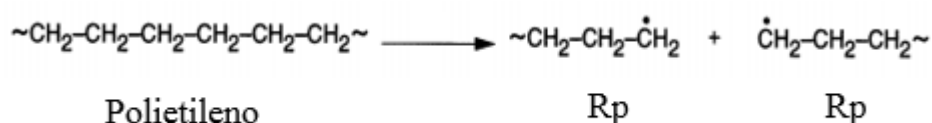
Fonte: FARAVELLI *et al.* (2001).

### 2.4.2 Polietileno (PE)

O polietileno se apresenta de duas formas: polietileno de alta densidade (PEAD) e polietileno de baixa densidade (PEBD). O mecanismo de degradação térmica (pirólise) do polietileno foi reportado por BOCKHORN *et al.* (1999) e é apresentado a seguir:

A primeira etapa (iniciação) envolve a quebra da cadeia polimérica com a formação de dois radicais primários (Rp), conforme pode ser observado na Figura 2.15.

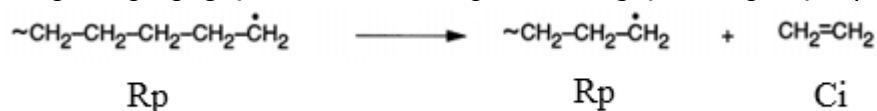
Figura 2.15. Etapa de iniciação da degradação térmica do polietileno.



Fonte: BOCKHORN *et al.* (1999).

Posteriormente, os radicais formados na primeira etapa (iniciação), podem sofrer uma quebra de ligações na posição  $\beta$ , formando-se um novo radical primário e um composto insaturado (Ci), conforme apresentado na Figura 2.16.

Figura 2.16. Etapa de propagação relacionada a quebra de ligações na posição  $\beta$ .



Fonte: BOCKHORN *et al.* (1999).

Outra reação possível (Segundo tipo de Propagação: Figura 2.17) é através da transferência intermolecular de hidrogênio com a formação de um radical secundário (Rs).

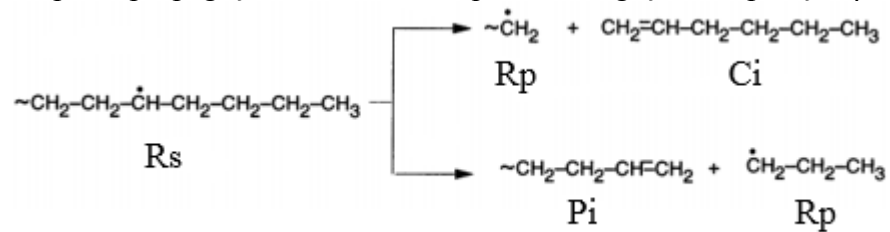
Figura 2.17. Etapa de propagação relacionada a transferência intermolecular de hidrogênio.



Fonte: BOCKHORN *et al.* (1999).

O radical secundário (Rs) pode ainda sofrer uma quebra de ligações na posição  $\beta$  (Figura 2.18), resultando na formação de um novo radical primário e um composto insaturado (Ci), ou ainda de um fragmento polimérico insaturado no final da cadeia (Pi).

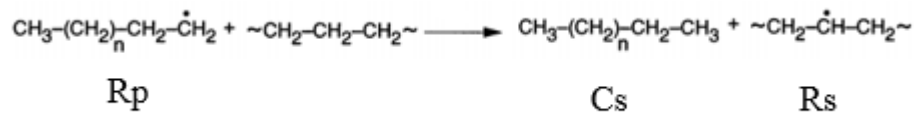
Figura 2.18. Etapa de propagação relacionada a quebra de ligações na posição  $\beta$ .



Fonte: BOCKHORN *et al.* (1999).

Um quarto tipo de propagação também foi proposto pelos autores (Figura 2.19). Nesta propagação pode ocorrer uma reação de transferência intermolecular de hidrogênio entre o radical primário e um fragmento da cadeia polimérica, formando-se um composto saturado (Cs) e um novo radical secundário.

Figura 2.19. Etapa de propagação relacionada a transferência intermolecular de Hidrogênio.



Fonte: BOCKHORN *et al.* (1999).

Finalmente, a etapa de terminação (Figura 2.20) envolve a ligação entre dois radicais primários, que resultam em alcanos como produto final, conforme pode ser visualizado na representação abaixo.

Figura 2.20. Etapa de terminação.



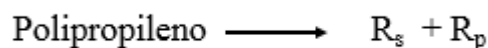
Fonte: BOCKHORN *et al.* (1999).

#### 2.4.3 Polipropileno (PP)

A quebra aleatória da cadeia polimérica do PP produz radicais primários e secundários, e conseqüentemente são formados radicais terciários através de reações de transferência intermolecular de hidrogênio (AGRADO e SERRANO, 1999).

O mecanismo de degradação térmica proposto para o PP é semelhante ao apresentado para a degradação do PE. Após a quebra da ligação C-C da cadeia polimérica, formam-se os radicais primários ( $R_p$ ) e secundários ( $R_s$ ). A etapa de iniciação está apresentada esquematicamente através da Figura 2.21.

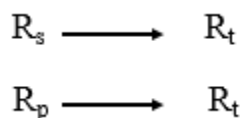
Figura 2.21. Etapa de iniciação da degradação térmica do polipropileno.



Fonte: COSTA (2006).

Subsequentemente, são formados radicais terciários ( $R_t$ ) através de reações de transferência intermolecular (Figura 2.22).

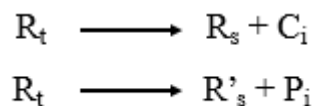
Figura 2.22. Reações de transferência intermolecular.



Fonte: COSTA (2006).

Em seguida, a cisão  $\beta$  destes radicais terciários, pode levar à formação de alcenos voláteis ( $C_i$ ) e de radicais secundários ( $R_s$ ). Uma cisão  $\beta$  do outro lado da cadeia leva à formação de um radical secundário de pequena cadeia ( $R'_s$ ) e uma cadeia polimérica com uma ligação dupla na extremidade ( $P_i$ ) (Figura 2.23).

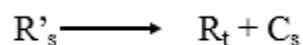
Figura 2.23. Cisão  $\beta$  dos radicais terciários.



Fonte: COSTA (2006).

Finalmente, este radical secundário de pequena cadeia é saturado por transferência intramolecular de hidrogênio resultando em um alcano ( $C_s$ ) (Figura 2.24).

Figura 2.24. Formação de alcano a partir da saturação do radical secundário.

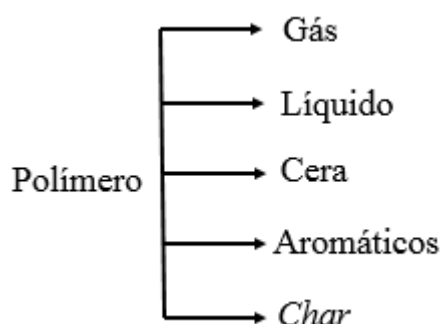


Fonte: COSTA (2006).

### 2.5 Reações primárias e secundárias em processos de pirólise

ELORDI *et al.* (2007) reportaram um mecanismo para a formação dos produtos do processo de pirólise de polímeros (Figura 2.25).

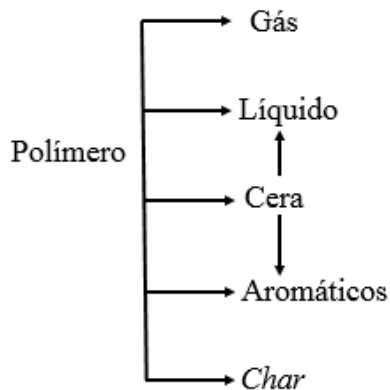
Figura 2.25. Formação dos produtos do processo de pirólise considerando reações em paralelo.



Fonte: ELORDI *et al.* (2007).

ELORDI *et al.* (2007) também propuseram que a fração líquida pode ser formada através de duas etapas. A primeira etapa ocorre a baixas temperaturas diretamente a partir do polímero, enquanto a segunda etapa ocorre a partir do craqueamento da cera, conforme Figura 2.26.

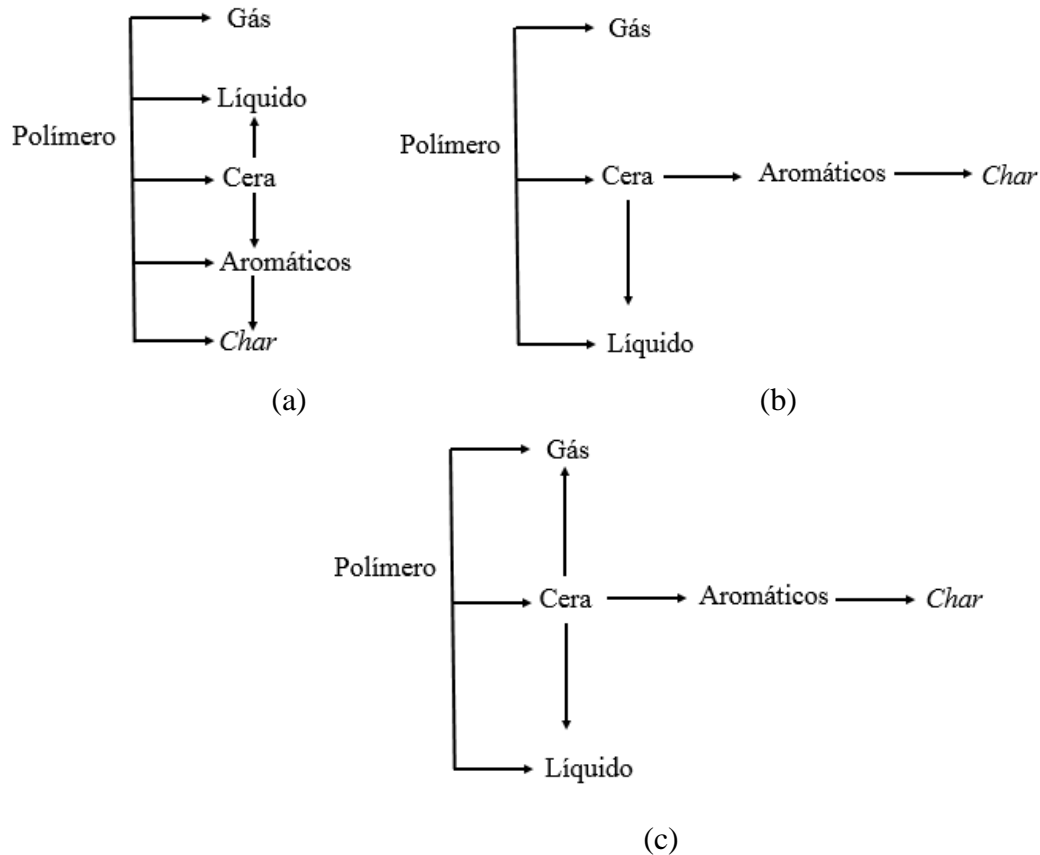
Figura 2.26. Formação dos produtos do processo de pirólise (primeira proposta de ELORDI *et al.* 2007).



Fonte: ELORDI *et al.* (2007).

De acordo com GUISET e MAGNOUX (2001), o *char* pode ser formado diretamente a partir do polímero, ou ainda a partir dos aromáticos (Figura 2.27 (a)). Entretanto, o *char* também pode ser formado apenas a partir dos aromáticos formados pela degradação da cera (Figura 2.27 (b)). Finalmente, uma nova etapa foi introduzida para a formação dos gases a partir de ceras (Figura 2.27 (c)).

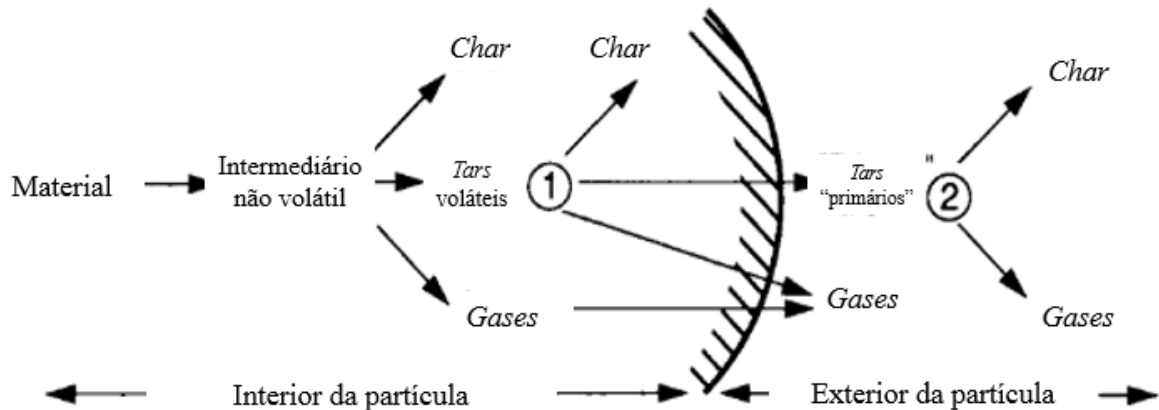
Figura 2.27. Formação dos produtos do processo de pirólise (demais mecanismos propostos por ELORDI *et al.* 2007).



Fonte: ELORDI *et al.* (2007).

Uma representação esquemática das reações primárias e secundárias envolvendo o interior e o exterior de uma partícula durante a pirólise foi reportada por BRIDGWATER (2008). De acordo com o autor o alcatrão (*tar*) seria o produto primário, formado a partir da pirólise de biomassas e de outros materiais contendo carbono. A formação do alcatrão não pode ser evitada. No entanto, o alcatrão primário não é estável, e pode reagir através de reações secundárias. Conforme apresentado na Figura 2.28, as reações secundárias do alcatrão (*tar*) ocorrem tanto no interior, quanto no exterior da partícula.

Figura 2.28. Representação esquemática das reações primárias e secundárias durante a pirólise.



Fonte: BRIDGWATER (2008).

De acordo com BRIDGWATER (2008), a reação no interior e no exterior da partícula pode ser dividida em duas classes. A primeira classe está relacionada as reações homogêneas do alcatrão (*tar*), tais como o craqueamento, a oxidação parcial e a repolimerização. Já a segunda classe, está relacionada as reações heterogêneas na superfície da partícula parcialmente reagida. Contudo, podem ocorrer os mesmos tipos de reação da primeira classe (craqueamento, oxidação parcial e repolimerização), e ainda as superfícies podem ter um efeito catalisador sobre a reação.

Diante do estado da arte apresentado acerca do tema (degradação térmica do RTS), é possível observar que diversos autores têm proposto o uso da pirólise como uma alternativa para a destinação final do RTS. O RTS apresenta uma elevada variação na sua composição, de acordo com a alimentação do triturador de sucata. O RTS gerado pelas unidades siderúrgicas Brasileiras se difere do RTS gerado por outros países, onde os trituradores são alimentados quase exclusivamente por automóveis. A contribuição do presente estudo diante do estado da arte está na investigação da influência dos principais parâmetros de operação (temperatura/taxa de aquecimento/vazão de gás inerte/razão CaO/RTS) sobre os rendimentos e as propriedades dos produtos (sólido carbonoso/vapores condensáveis/gás não-condensável) formados no processo de pirólise do RTS a luz de uma análise estatística (planejamento experimental). Não foi reportado na literatura trabalhos sobre a pirólise do RTS conduzidos com esta abordagem, além disto a pirólise de um RTS brasileiro também não foi reportada. A partir dos resultados obtidos neste trabalho será possível uma definição mais segura acerca da aplicação da pirólise do RTS como um processo de destinação final. Em trabalhos posteriores, poderá se definir rotas de aproveitamento do RTS como um todo ou de alguns de seus componentes, quer na indústria

geradora do RTS, quer em outros processos que estão sendo desenvolvidos para o aproveitamento de resíduos de um modo geral.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Na primeira etapa deste capítulo, serão abordados os materiais que foram utilizados para o desenvolvimento deste trabalho, e posteriormente as metodologias adotadas nos experimentos.

#### 3.1 *Materiais*

Os materiais necessários para o desenvolvimento deste trabalho foram as amostras de RTS e óxido de cálcio (CaO), além dos seguintes polímeros virgens: poliestireno, polietileno de alta densidade, polietileno de baixa densidade, polipropileno, poliamida 6, poliamida 6.6 e poliamida 6.12.

##### 3.1.1 Amostras de RTS

As amostras do RTS utilizadas durante o desenvolvimento deste trabalho são provenientes de uma indústria siderúrgica brasileira. As referidas amostras de resíduo foram geradas no triturador de sucata da siderúrgica. Na revisão bibliográfica deste trabalho foi abordada através de um fluxograma (Figura 2.2) a rota simplificada do processamento da sucata na indústria siderúrgica, com destaque para a fração do RTS >100 mm, que é o objeto deste estudo.

O procedimento de coleta foi realizado durante cinco etapas de operação. Os resíduos gerados no processo de trituração da sucata foram coletados no início e no final do processo. As amostras foram acondicionadas em sacos (*bags*) com capacidade de até 600 kg. A amostragem (Figura 3.1), bem como o quarteamento (Figura 3.2), foram realizadas conforme a NBR 10007/2004.



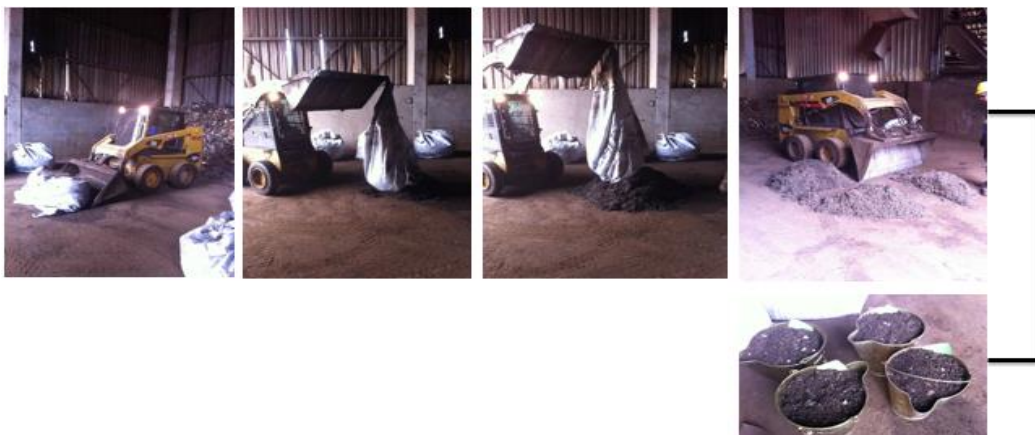
Figura 3.1. Procedimento de amostragem na indústria siderúrgica.



Fonte: Elaboração da presente autora.

O processo de quarteamento consiste na divisão em quatro partes iguais de uma amostra pré-homogeneizada. Em seguida são tomadas duas partes opostas entre si para constituir uma nova amostra, e descartadas as partes restantes. As partes constituídas são misturadas totalmente, e o processo de quarteamento é repetido até que se obtenha a massa desejada (NBR 10007/2004).

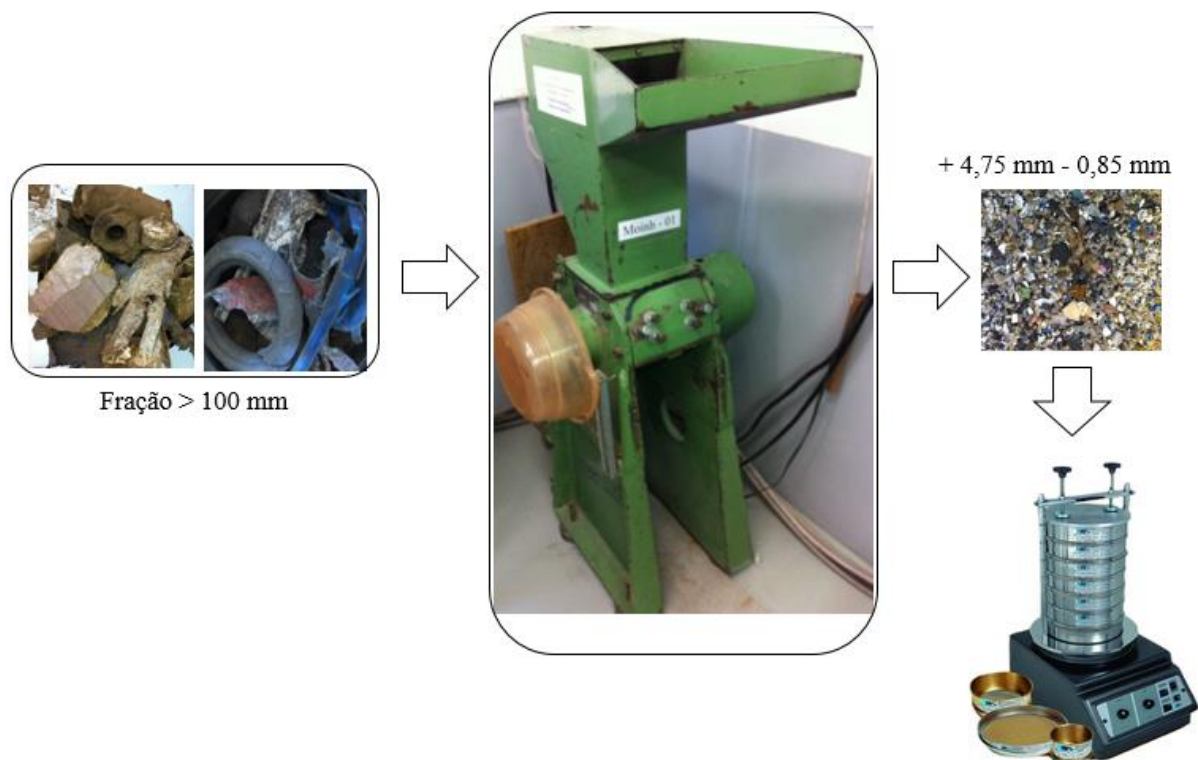
Figura 3.2. Procedimento de quarteamento das amostras na indústria siderúrgica.



Fonte: Elaboração da presente autora.

Após o procedimento de quarteamento, as amostras foram cominuídas em um moinho de facas da empresa Primotécnica, modelo P1001. A redução do tamanho de partícula possibilitou a análise de distribuição granulométrica do resíduo. Um fluxograma com as etapas do processo de preparação das amostras é apresentado na Figura 3.3. A preparação das amostras foi executada no Laboratório de Polímeros (LPol) da Universidade de Caxias do Sul.

Figura 3.3. Fluxograma do processo de preparação das amostras.



Fonte: Elaboração da presente autora.

### 3.1.2 Óxido de cálcio

Com o objetivo de reduzir a presença de gases ácidos, além de capturar o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presente no gás não-condensável, óxido de cálcio foi adicionado nos experimentos de pirólise. O óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) utilizado nos ensaios de pirólise foi adquirido junto a empresa Neon Comercial Ltda. O referido óxido possui teor de pureza de 96,10%.

### 3.1.3 Polímeros

Os seguintes polímeros virgens foram utilizados para as análises térmicas (TGA/DTG), além de uma amostra de madeira que foi segregada do RTS. Os referidos polímeros foram utilizados por serem os principais constituintes do RTS.

Tabela 3.1. Polímeros virgens utilizados para as análises térmicas.

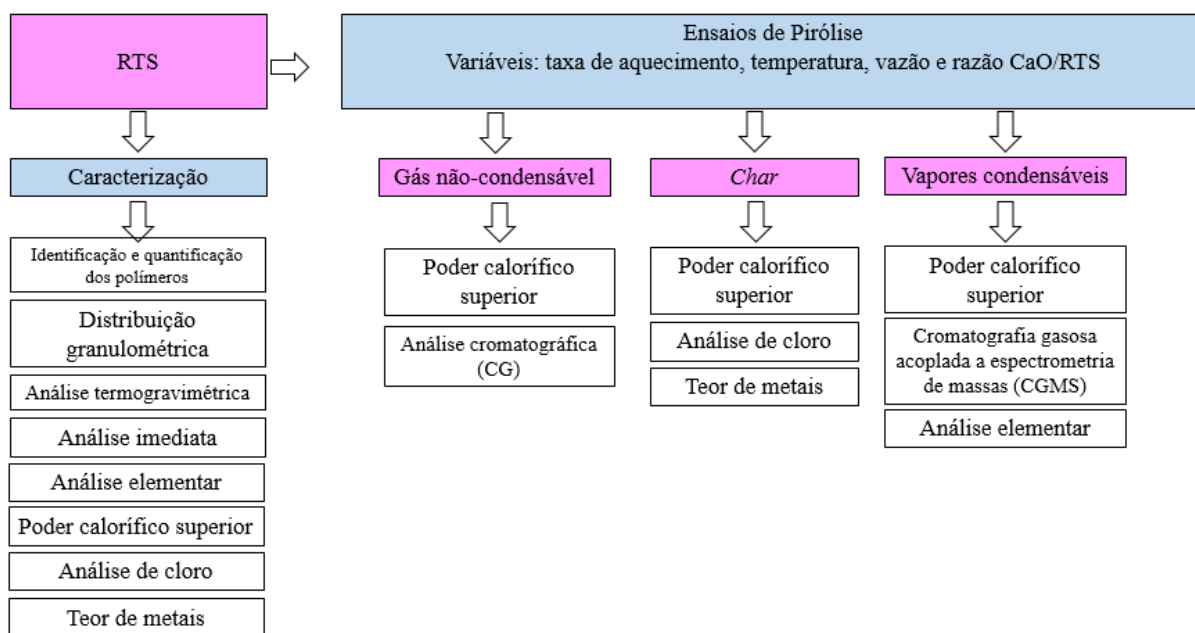
Polímero	Especificação
Poliestireno	Grade N1921, produzido pela Innova e com lote de fabricação 06253011105161
Polietileno de alta densidade	Grade HC7260-LS-L, produzido pela Braskem e com lote de fabricação RSGG1E015E
Polietileno de baixa densidade	Grade PB601, produzido pela Braskem e com lote de fabricação 310022A6
Polipropileno	Grade H201, produzido pela Braskem e com lote de fabricação RSBB9C105E
Poliamida 6	Grade PA6NS, produzido pela Alfa Poliamida Ltda. e com lote de fabricação 1234/98
Poliamida 6.6	Grade A205F, produzido pela Rhodia e com lote de fabricação 301050
Poliamida 12	Grade L20G, produzido pela SEM e com lote de fabricação 76-15986/04

Fonte: Elaboração da presente autora.

### 3.2 Métodos

Um Fluxograma geral dos métodos (Figura 3.4) utilizados neste trabalho é apresentado a seguir. Na sequência, serão abordados separadamente cada um dos métodos inseridos neste fluxograma de maneira detalhada.

Figura 3.4. Fluxograma geral da metodologia utilizada neste trabalho.

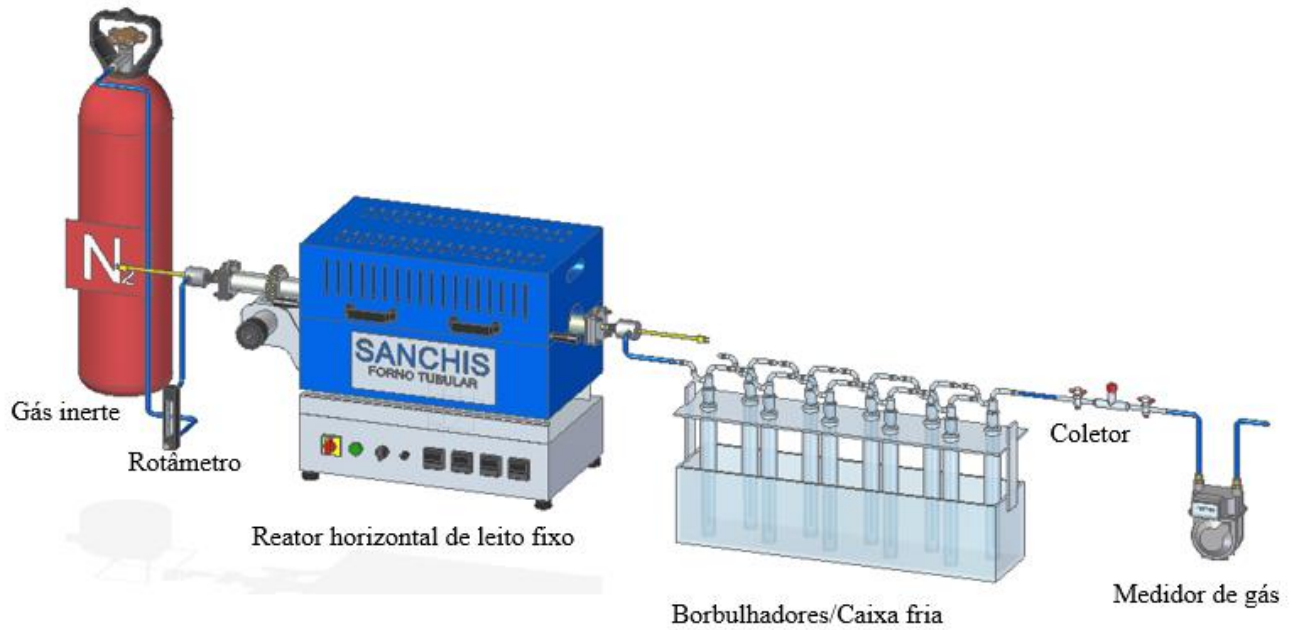


Fonte: Elaboração da presente autora.

### 3.2.1 Ensaio de pirólise

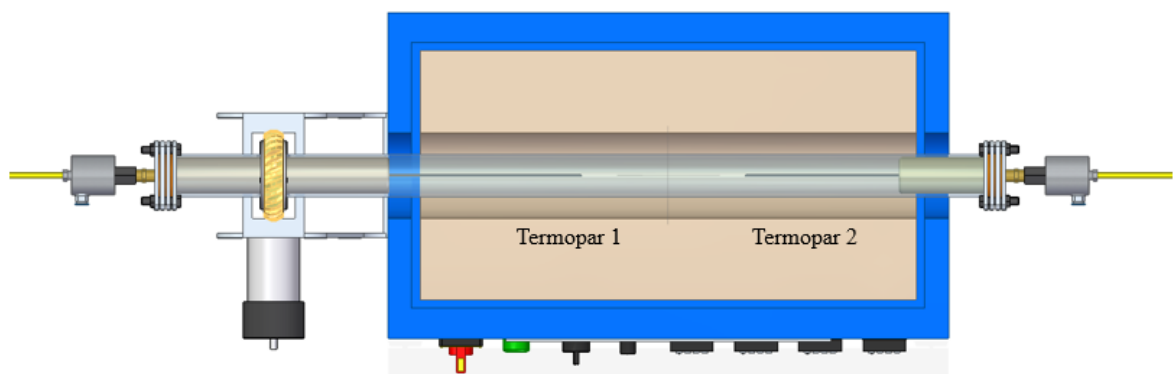
Os ensaios de pirólise foram conduzidos em um reator de bancada, que opera em sistema batelada (Figuras 3.5 e 3.6). Sua operação pode ser conduzida tanto em leito estacionário quanto rotativo. Trata-se de um forno da marca Sanchis, que possui um reator de quartzo acoplado internamente. O controle da vazão de inerte ( $N_2$ ) é realizado por um rotâmetro (0 a 1 L/min). O reator possui as seguintes dimensões: 981 mm de comprimento, 49 mm de diâmetro externo e 43 mm de diâmetro interno. O comprimento útil do forno é de 516 mm. O reator é aquecido eletricamente por duas resistências, cada uma com potência de 1900 W. Dois termopares do tipo K estão posicionados no interior do reator. Em todos os experimentos o termopar 1 ficou inserido no interior da amostra de RTS. A temperatura máxima de operação do forno é de 1200 °C. A condensação dos vapores de pirólise foi conduzida segundo a norma CEN BT/TF 143 (adaptada). Foram utilizados dez borbulhadores (*impingers*) associados em série. Em cada experimento foram adicionados 100 mL de álcool isopropílico em cada borbulhador, com exceção do primeiro e do último (vazios). Todos os borbulhadores foram acondicionados em uma caixa fria (banho de gelo, sal e álcool isopropílico). O objetivo do banho foi manter os borbulhadores a baixa temperatura (em torno de -10 °C), de forma a favorecer a condensação dos vapores do processo de pirólise. A amostragem (coleta) do gás não-condensável foi realizada fazendo-se uso de coletores (*traps*). A jusante do coletor, há um medidor de gás do tipo diafragma (marca LAO Indústria, modelo G-1). O referido medidor foi utilizado para a medição do volume do gás não-condensável, e possui as seguintes características básicas: vazão máxima de operação de 1,6 m<sup>3</sup>/h, vazão mínima de operação de 0,016 m<sup>3</sup>/h e pressão manométrica máxima de trabalho de 50 kPa.

Figura 3.5. Fluxograma do reator utilizado nos ensaios de pirólise.



Fonte: Elaboração da presente autora.

Figura 3.6. Posicionamento dos termopares do reator utilizado nos ensaios de pirólise.



Fonte: Elaboração da presente autora.

Todos os experimentos foram conduzidos fazendo-se uso de uma isoterma de 30 min após ser atingida a temperatura final do experimento. As amostras do gás não-condensável foram coletadas conforme a Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Procedimento de coleta das amostras de gás.

Temperatura final do ensaio (°C)	Coleta na região não-isotérmica (°C)	Coleta na região isotérmica (min)
500	400, 450 e 500	0, 15 e 30
700	400, 500, 600 e 700	0, 15 e 30

Fonte: Elaboração da presente autora.

### 3.2.2 Determinação do rendimento dos produtos do processo de pirólise do RTS

No processo de pirólise do RTS foram obtidos os seguintes produtos: *char*, vapores condensáveis e gás não-condensável. Tendo em vista que o primeiro borbulhador não possuía álcool isopropílico no seu interior, os vapores condensáveis provenientes do processo de pirólise foram divididos em duas categorias: vapores condensados no primeiro borbulhador (VCA) e vapores condensados nos demais borbulhadores (VCB). Esta nomenclatura será adotada ao longo de todo o texto para referenciar os referidos vapores condensáveis. Para ambas as categorias de vapores condensáveis (VCA/VCB) foi realizada a pesagem do sistema de condensação (borbulhadores) antes e após cada experimento.

Para a caracterização do VCB por cromatografia gasosa com espectrometria de massas (CGMS) foi utilizada a fração líquida composta de VCB e álcool isopropílico (Figura 3.7).

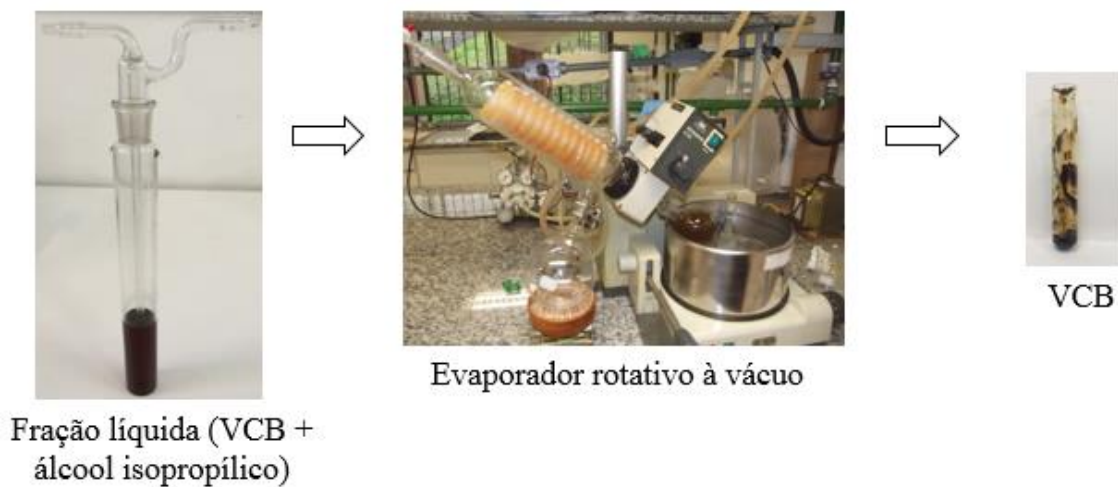
Figura 3.7. Fração líquida composta de VCB e álcool isopropílico.



Fonte: Elaboração da presente autora.

Para a análise elementar (CHNS) do VCB foi conduzida a etapa de separação (destilação) da fração líquida (VCB + álcool isopropílico) em um evaporador rotativo à vácuo (53,32 kPa), modelo R110 da marca Brinkmann, ajustado na temperatura de 70 °C (banho com água), conforme pode ser visualizado através da Figura 3.8. O procedimento de separação do VCB e do álcool isopropílico no evaporador rotativo consistiu no aquecimento da amostra, proporcionado a evaporação do componente de menor ponto de ebulição (álcool isopropílico), que foi posteriormente condensado e coletado em outro recipiente.

Figura 3.8. Etapa de separação da fração líquida (VCB + álcool isopropílico).



Fonte: Elaboração da presente autora.

Tendo em vista a ausência de álcool isopropílico no primeiro borbulhador, todas as análises (PCS/CGMS/CHNS) realizadas no VCA foram conduzidas sem nenhum tratamento prévio. A Figura 3.9 ilustra a aparência de uma amostra típica do VCA.

Figura 3.9. VCA obtido nos ensaios de pirólise do RTS.



Fonte: Elaboração da presente autora.

Para a determinação do rendimento de *char*, foi conduzido o procedimento de pesagem do material sólido remanescente no reator de pirólise. Três amostras do *char* produzido a partir dos ensaios de pirólise do RTS estão representadas na Figura 3.10. Nos ensaios em que o óxido de cálcio (CaO) foi utilizado, a massa de *char* foi obtida pela diferença entre a massa final obtida no experimento e a massa de CaO adicionada no início do experimento.



Figura 3.10. Amostras do *char* produzido a partir dos ensaios de pirólise do RTS.



Fonte: Elaboração da presente autora.

O rendimento de gás não-condensável foi obtido pelo balanço de massa, ou seja, a diferença entre a massa inicial de RTS utilizada no experimento e o somatório das massas dos demais produtos de pirólise ( $VCA + VCB + char$ ).

### 3.2.3 Planejamento Experimental

Com o objetivo de identificar as condições operacionais adequadas, bem como os pontos ótimos operacionais, foi proposto um planejamento fatorial  $2^k$ . Este planejamento utiliza  $k$  fatores analisados em 2 níveis. Este procedimento fornece o menor número de ensaios com os quais os  $k$  fatores podem ser estudados em um planejamento fatorial completo. Conseqüentemente, esses planejamentos são largamente utilizados em experimentos de varredura de fatores (CALADO e MONTGOMERY, 2003).

De acordo com MONTGOMERY (1991), quando um experimento fatorial  $2^k$  é conduzido, dificilmente o experimentador sabe se a resposta de interesse varia de forma linear ou não linear em função dos fatores, pois existem apenas dois níveis para cada parâmetro. Dentre as técnicas de planejamento que ajudam a resolver esse problema, está a adição de um ponto de experimentação no nível  $X_0$  (0,0), intermediário aos níveis (-1,+1), para os fatores  $x_i$  ( $i= 1,2,\dots,k$ ). Ainda de acordo com o autor, os pontos centrais são utilizados para analisar a linearidade dos efeitos provocados pelos fatores no experimento, assim como, para se estimar os erros experimentais, sem influenciar os efeitos produzidos pelos fatores de respostas. Desta forma, para todos os resultados considerados verificou-se, através da Análise de Variância (ANOVA), se o modelo de primeira ordem poderia ser utilizado para ajustar a superfície de resposta. Nos casos onde houve efeito da curvatura, optou-se por não apresentar o gráfico de superfície.



As variáveis estudadas neste trabalho, bem como os seus níveis, são apresentadas na Tabela 3.3. É possível identificar que um ponto central foi utilizado, bem como uma duplicata para todas as condições avaliadas. A utilização de uma duplicata é de suma importância, uma vez que o material em estudo (RTS) apresenta elevada heterogeneidade.

Tabela 3.3. Matriz do Planejamento Experimental.

Experimento	Valores codificados				Valores reais			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
1	-1	-1	-1	-1	500	5	0,03	0
2	-1	-1	+1	-1	500	5	0,76	0
3	-1	+1	+1	+1	500	35	0,76	2
4	+1	+1	-1	+1	700	35	0,03	2
5	+1	-1	+1	+1	700	5	0,76	2
6	+1	+1	+1	-1	700	35	0,76	0
7	+1	-1	-1	-1	700	5	0,03	0
8	+1	+1	-1	-1	700	35	0,03	0
9	-1	+1	+1	-1	500	35	0,76	0
10 (C)	0	0	0	0	600	20	0,44	1
11	+1	-1	-1	-1	700	5	0,03	0
12	+1	+1	-1	+1	700	35	0,03	2
13	-1	+1	-1	-1	500	35	0,03	0
14	-1	-1	+1	+1	500	5	0,76	2
15	+1	+1	+1	+1	700	35	0,76	2
16	+1	-1	+1	-1	700	5	0,76	0
17	-1	+1	+1	+1	500	35	0,76	2
18	-1	-1	-1	-1	500	5	0,03	0
19	-1	-1	-1	+1	500	5	0,03	2
20	+1	-1	-1	+1	700	5	0,03	2
21	-1	+1	-1	+1	500	35	0,03	2
22	-1	+1	-1	+1	500	35	0,03	2
23	-1	+1	+1	-1	500	35	0,76	0
24	+1	+1	+1	+1	700	35	0,76	2
25	-1	-1	+1	+1	500	5	0,76	2

26	+1	-1	+1	+1	700	5	0,76	2
27	-1	+1	-1	-1	500	35	0,03	0
28	-1	-1	+1	-1	500	5	0,76	0
29 (C)	0	0	0	0	600	20	0,44	1
30	+1	+1	-1	-1	700	35	0,03	0
31	+1	-1	-1	+1	700	5	0,03	2
32	+1	+1	+1	-1	700	35	0,76	0
33	-1	-1	-1	+1	500	5	0,03	2
34	+1	-1	+1	-1	700	5	0,76	0

Fonte: Elaboração da presente autora.

X<sub>1</sub>- Temperatura (°C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (°C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS.

CaO/RTS: 0 (ensaios conduzidos na ausência de CaO e com alimentação inicial de 50 g de RTS)

CaO/RTS: 1 (ensaios conduzidos com alimentação inicial de 25 g de CaO e 50 g de RTS; razão mássica de 1:2)

CaO/RTS: 2 (ensaios conduzidos com alimentação inicial de 100 g de CaO e 50 g de RTS; razão mássica 4:2).

A significância estatística dos fatores foi avaliada por meio da Análise de Variância (ANOVA) com o auxílio do Software Statistica 12. Foi utilizado um nível de confiança de 95%. O resultado foi avaliado em função do valor-p obtido. Valores-p inferiores a 0,05 indicam a significância estatística do fator, e quanto menor o valor-p maior a alteração provocada pelo fator na correspondente variável estudada.

Na apresentação da significância estatística foi utilizada, uma ferramenta gráfica de análise (diagrama de Pareto). O diagrama de Pareto permite disponibilizar os dados em uma ordem hierárquica, ajudando a identificar e avaliar os parâmetros e as interações mais significativas sobre cada variável de resposta considerada em um determinado processo. No diagrama de Pareto, os efeitos cujos retângulos ultrapassarem à direita da linha divisória ( $p = 0,05$ ) são estatisticamente significativos, ao nível de 95% de confiança em relação aos demais. Enquanto os efeitos positivos estão associados a um aumento da variável resposta, os efeitos negativos indicam que um aumento daquele parâmetro reduz a variável resposta considerada (ARAÚJO, 2012).

A análise dos resíduos foi obtida através do ajuste de um modelo de regressão linear. No Apêndice 1 estão apresentados os modelos para a obtenção dos valores previstos para cada uma das variáveis de resposta.

### 3.3 Técnicas de caracterização

Neste item serão abordadas as seguintes técnicas de caracterização utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho: identificação e quantificação dos materiais presentes no RTS, distribuição granulométrica, análise imediata, análise elementar, poder calorífico superior, análise de cloro, teor de metais, análise cromatográfica dos gases não-condensáveis, análise de cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas, espectroscopia de energia dispersiva (EDS) e difração de raios X.

#### 3.3.1 Identificação e quantificação dos materiais presentes no RTS

A identificação e a quantificação dos diferentes materiais presentes no RTS foi realizada no laboratório de Polímeros (LPol) da Universidade de Caxias do Sul.

Os diferentes materiais presentes no RTS foram inicialmente separados de forma visual, considerando a sua aparência física, conforme pode ser observado na Figura 3.11. A quantificação foi conduzida em uma amostra de 100 g do RTS cominuído (procedimento descrito no item 3.1.1 deste trabalho), e após a separação, as diferentes frações foram pesadas para a determinação da sua participação no RTS.

Figura 3.11. Materiais presentes no RTS.



Fonte: Elaboração da presente autora.

Através da coloração da chama e do seu odor é possível identificar os diferentes polímeros presentes no RTS, conforme as características descritas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Características físicas, químicas e mecânicas de alguns polímeros encontrados no RTS

Material	Características
<p><b>Poliestireno (PS)</b> Aplicações Gerais: utilidades domésticas e carcaças de aparelhos eletrônicos.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Transparente (quando há incorporação de borracha, fibras ou pigmentos).</li> <li>2. Duro e rígido.</li> <li>3. Razoavelmente difícil de cortar. Área cortada é quebradiça (somente em poliestireno modificado encontraremos a área cortada lisa).</li> <li>4. Afunda em água.</li> <li>5. Queima rapidamente, não é auto extingüível; goteja e continua queimando; chama alaranjada com fuligem; odor assemelha-se a cravo. Muitos poliestirenos modificados dão odores de borracha.</li> </ol>
<p><b>Polietileno (alta e baixa densidade)</b> Aplicações Gerais: garrafas, brinquedos e utilidades domésticas.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Termoplástico (funde, escorre e goteja), fumaça neutra, odor de vela queimando, chama de cor amarela e de base azul.</li> <li>2. Para o polietileno de alta densidade, o ponto de fusão é 135 °C e a densidade é 0,96 g/cm<sup>3</sup>. Para o polietileno de baixa densidade, o ponto de fusão é 115 °C e a densidade é 0,92 g/cm<sup>3</sup>.</li> <li>3. Torna-se transparente quando fundido.</li> </ol>
<p><b>Poliamida (PA)</b> Aplicações Gerais: mobílias, encaixes de corrimão, engrenagens, dobradiças de portas e janelas.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Opaco, exceto quando filme.</li> <li>2. Duro e rígido.</li> <li>3. Razoavelmente fácil de se cortar, a área cortada é lisa.</li> <li>4. Afunda.</li> <li>5. Ignição de chama dificultosa, a chama não se extingue, o material amolece, torna-se um líquido altamente fluído; goteja, carregando consigo a chama de cor azul com topo amarelo.</li> </ol>
<p><b>Politereftalato de etileno (PET)</b> Aplicações Gerais: Limpadores de para-brisa traseiros, componentes elétricos, soquetes de lâmpadas e eletrodomésticos.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Termoplástico.</li> <li>2. Fumaça neutra, de odor adocicado e com chama amarela; incendeia-se e libera fuligem.</li> <li>3. O material fundido torna-se claro.</li> <li>4. Seu ponto de fusão é de 265 °C.</li> </ol>
<p><b>Polipropileno (PP)</b> Aplicações Gerais: containers, eletrodomésticos e brinquedos.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Transparente, quando em filme é translúcido, espessas secções.</li> <li>2. Duro e rígido.</li> <li>3. Fácil de se cortar, a área cortada é lisa.</li> <li>4. Flutua em água.</li> <li>5. Moderada ignição da chama, não é auto extingüível; funde e goteja; para de queimar ao tocar o chão, chama amarela com um traço azul claro; cheiro de vela, mas não idêntica ao polietileno.</li> </ol>
<p><b>Poliuretano (PU)</b> Aplicações Gerais: peças automobilísticas e espumas.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Opaco.</li> <li>2. Relativamente flexível, dependendo do plastificante.</li> <li>3. Corte fácil, a área cortada é lisa.</li> <li>4. Flutua (quando em espuma).</li> <li>5. Moderada facilidade de queima; a chama se extingue e possui cor amarela; carboniza superficialmente; possui odor característico.</li> </ol>
<p><b>Poli cloreto de vinila (PVC)</b> Aplicações Gerais: conduites, filmes e garrafas.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Transparente, quando em filmes e translúcido em espessas secções.</li> <li>2. Flexível, dependendo da porcentagem de plastificante.</li> <li>3. Duro e rígido.</li> <li>4. Afunda.</li> <li>5. Difícil ignição da chama; a chama se extingue e é amarela, verde nos cantos da base, solta fumaça branca; amolece, carboniza superficialmente; odor característico de cloretos.</li> </ol>

Fonte: CARVALHO *et al.* (2002).

De maneira complementar ao teste da coloração da chama e do seu odor, foi conduzida a análise por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) para a identificação dos polímeros presentes no RTS. A análise de FTIR foi conduzida no equipamento Nicolet IS10 *Termo Scientific*, disponível no laboratório de Polímeros (LPol) da Universidade de Caxias do Sul.

### 3.3.2 Distribuição granulométrica

Para a determinação da distribuição granulométrica do material (RTS) foram utilizadas as amostras previamente cominuídas em moinho de facas, conforme descrito no item 3.1.1. Uma fração de 150 g de amostra foi submetida ao procedimento de peneiramento pelo tempo de 15 minutos. Cada peneiramento utilizou 12 peneiras da série Tyler (4, 6, 8, 10, 14, 20, 28, 35, 48, 65 150 e 200 *mesh*) em um agitador eletromagnético da marca Tamis. As análises foram realizadas no Laboratório de Energia e Bioprocessos da Universidade de Caxias o Sul (LEBIO).

### 3.3.3 Análise Termogravimétrica

A Termogravimetria (TG) é baseada no estudo da variação de massa de determinada amostra, resultante de uma transformação física (sublimação, evaporação ou condensação), ou química (degradação, decomposição ou oxidação), em função do tempo e/ou da temperatura. Desta forma, a termogravimetria é definida como um processo contínuo que mede a variação de massa (perda ou ganho) de uma amostra em função da temperatura e/ou tempo (MOTHÉ, 2002).

A TG é bastante utilizada para a caracterização do perfil de degradação térmica de polímeros e de outros materiais. A exposição da amostra à temperatura elevada pode provocar reações químicas no material, e conseqüentemente alterar as suas propriedades físicas. Desta forma, a curva de degradação térmica, em condições não-isotérmicas, apresenta o perfil da estabilidade térmica que o material possui quando submetido a uma variação de temperatura (MOTHÉ, 2002).

Para a avaliação dos resultados da análise térmica deve ser avaliada a curva de perda de massa em função da temperatura (TG), bem como a sua derivada primeira (DTG). As análises térmicas das amostras de RTS, dos principais polímeros (poliestireno, polietileno de alta densidade, polietileno de baixa densidade, polipropileno, poliamida 6, poliamida 6.6 e

poliamida 6.12) presentes no RTS, bem como de uma amostra de madeira que foi segregada do RTS, foram conduzidas no Laboratório de Energia e Bioprocessos (LEBIO) da Universidade de Caxias do Sul. As análises foram realizadas com amostras de diâmetro inferior a 0,9 mm e massa inicial de aproximadamente 10 mg. Os ensaios foram realizados em triplicata, em uma balança termogravimétrica STA 449 F3 Jupiter ® da marca Netzsch em atmosfera inerte (N<sub>2</sub>) a uma vazão volumétrica de 50 mL/min. O cadinho utilizado foi de alumina. Os ensaios não-isotérmicos foram conduzidos com as seguintes taxas de aquecimento: 5, 20 e 35 °C/min desde a temperatura ambiente até a temperatura final de 800 °C.

### 3.3.4 Análise imediata

A análise imediata consiste na determinação dos teores de umidade, matéria volátil, cinzas e carbono fixo. As amostras de RTS foram submetidas aos procedimentos descritos nas normas D 3172-89 (1997) e D 3173-87 (1996) da *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

As análises mencionadas foram realizadas no Laboratório de Energia e Bioprocessos (LEBIO) da Universidade de Caxias do Sul.

#### 3.3.4.1 Umidade

Com relação à determinação do teor de umidade das amostras, foi utilizada uma balança analítica da marca Shimadzu, modelo AUY220 e uma estufa da marca Delio, modelo A3SED. As etapas a seguir apresentam como o ensaio foi conduzido.

- a) Calcinação do conjunto (cadinho + tampa) na temperatura de 950 °C por 2 h;
- b) Aquecimento do conjunto (cadinho + tampa) sob uma temperatura de 105 °C;
- c) Após 4,5 h o conjunto é disposto no dessecador até o resfriamento, para posterior pesagem;
- d) Adiciona-se 1 g da amostra no cadinho e coloca-se imediatamente a tampa;
- e) Remove-se a tampa e coloca-se a cápsula na estufa pré-aquecida, renovando o ar a uma taxa de 2 a 4 vezes por minuto;
- f) O conjunto (cadinho + tampa + amostra) permanece no interior da estufa por 4 horas na temperatura de 105 °C;
- g) Decorridas estas 4 horas, coloca-se o conjunto no dessecador até o resfriamento e, finalmente realiza-se a pesagem do conjunto resfriado.

#### 3.3.4.2 Teor de Matéria volátil

A determinação de matéria volátil foi realizada de acordo com a metodologia descrita abaixo, fazendo-se uso de uma mufla da marca Fornitec, modelo 1963 e de uma balança analítica da marca Shimadzu, modelo AUY220.

- a) Calcina-se o conjunto (cadinho + tampa) a uma temperatura de 950 °C por 2 h;
- b) Em seguida o conjunto é disposto no dessecador até o resfriamento, para posterior pesagem;
- c) Adiciona-se 1 g de amostra no cadinho e coloca-se imediatamente a tampa;
- d) O cadinho com a amostra é disposto na porta da mufla a 950 °C por 2 min e, em seguida é disposto no centro da mufla fechada por 5 min;
- e) O conjunto (cadinho + amostra + tampa) é disposto no dessecador até o resfriamento e, finalmente realiza-se a pesagem do conjunto resfriado.

#### 3.3.4.3 Teor de Cinzas

Tradicionalmente, a determinação do teor de cinzas envolve o aquecimento da amostra em condições específicas fazendo-se uso de uma mufla (ASTM D3172-89). Este procedimento exige uma quantidade significativa de amostra. Diferentes trabalhos têm sido conduzidos com o intuito de utilizar a análise térmica como método alternativo a utilização da mufla (WARNE, 1996).

Inicialmente a determinação do teor de cinzas nas amostras foi conduzida segundo as normas ASTM D3172-89, com a utilização de um forno tipo mufla. Os resultados obtidos a partir das referidas normas não foram confiáveis. Desta forma, a determinação do teor de cinzas nas amostras foi realizada a partir da análise térmica (TG).

As normas ASTM E1131-E1186 são utilizadas para a determinação de materiais com alta e média volatilidade. No entanto, esta norma fornece somente orientações de taxas (rampas) de aquecimento e/ou temperaturas finais, que devem ser adaptadas ao tipo de amostra a ser analisada (MAYORAL *et al.* 2001).

Assim, a determinação do teor de cinzas para as amostras deste trabalho foi conduzida fazendo-se uso de uma balança termogravimétrica STA 449 F3 Jupiter ® da marca Netzsch. A análise foi realizada com atmosfera de ar sintético, amostras com diâmetro inferior a 0,9 mm e massa inicial de aproximadamente 10 mg. O cadinho utilizado foi de alumina. A rampa de aquecimento foi conduzida da temperatura ambiente até 500 °C (taxa de aquecimento de 8,33

°C/min) e da temperatura de 500 °C até 950 °C (taxa de aquecimento de 7,92 °C/min). As referidas taxas de aquecimento foram utilizadas com o objetivo de atender as recomendações da norma (a temperatura atingida em 1 h deve ser de 500 °C e a temperatura atingida nas 2 h deve ser de 950 °C). Finalmente as amostras foram deixadas nesta temperatura (950 °C) por mais 2 h.

#### 3.3.4.4 Teor de carbono fixo

A determinação do teor de carbono fixo em base seca é realizada a partir dos teores de cinza e de matéria volátil, conforme a Equação 3.1:

$$\%CF = 100 - \%CZ - \%MV \quad (3.1)$$

Onde,

CF é carbono fixo, CZ cinzas e MV matéria volátil.

#### 3.3.5 Análise elementar

A análise elementar das amostras foi realizada no Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) segundo as seguintes normas técnicas: ASTM D5373/02 (carbono, hidrogênio e nitrogênio) e ASTM D4239-14e2 (enxofre), utilizando instrumental da ELEMENTAR, modelo Vario Macro.

#### 3.3.6 Poder calorífico

As análises de poder calorífico das amostras de RTS e de *char* foram conduzidas no Laboratório de Energia e Bioprocessos (LEBIO) da Universidade de Caxias do Sul. O equipamento utilizado foi uma bomba calorimétrica da marca VEB, número 08, modelo 1031.

A metodologia para a realização das análises de poder calorífico das amostras de RTS e de *char* está descrita abaixo da seguinte forma: preparação das pastilhas, preparação do sistema e obtenção dos dados experimentais.



### 3.3.6.1 Preparação das pastilhas

As pastilhas foram preparadas fazendo-se uso de um fio de níquel cromo de aproximadamente 13 cm. Primeiramente fez-se a pesagem do referido fio e posteriormente a inserção na matriz prensa, de modo que o fio passasse pelas ranhuras existentes com o objetivo de evitar o cisalhamento. A seguir foram pesadas 0,7 g de ácido benzóico e 0,3 g de amostra (tamanho de partícula de 250  $\mu\text{m}$ : passante na peneira da série Tyler, *mesh* 60, conforme norma ASTM D5865). Em seguida foi realizada a mistura das duas frações (ácido benzóico + amostra). A compactação foi realizada em uma matriz. A mistura (ácido benzóico + amostra) foi disposta em um cunho antes de ser colocada na matriz. As amostras de RTS permaneceram na matriz pelo período de 24 horas. Para as amostras de *char*, o tempo foi de 20 minutos. Decorrido este tempo, necessário para a compactação e formação da pastilha, fez-se a retirada e pesagem para posterior inserção na bomba calorimétrica.

### 3.3.6.2 Preparação do sistema

Para a preparação do sistema, a pastilha foi fixada nos pólos da cabeça da bomba, de maneira que a mesma ficasse sob o cadinho, fixando as extremidades do fio nas hastes.

Posteriormente, introduziu-se 5 mL de água deionizada através de uma pipeta no corpo da bomba. Em seguida, colocou-se a cabeça da bomba cuidadosamente e fez-se o fechamento de forma manual. Através da válvula de admissão da bomba, adicionou-se oxigênio a uma pressão de 30 bar.

A bomba calorimétrica foi inserida no equipamento, para posterior inserção do agitador e do termômetro de Beckmann. Foram utilizados 2 L de água na camisa interna do equipamento. Com relação a temperatura desta camisa (interna), a mesma foi de aproximadamente 1°C a 1,5°C abaixo da temperatura da água da camisa externa. Outra questão importante esteve relacionada com a posição do termômetro, bem como com a velocidade do agitador. Ambas permaneceram constantes durante os ensaios. Ainda, a bomba calorimétrica e o agitador foram conectados na caixa de ignição.

### 3.3.6.3 Obtenção dos dados experimentais

Ao término do procedimento de preparação do sistema, conduziu-se a análise propriamente dita. Neste momento, a caixa de ignição esteve conectada à rede, a lâmpada de ignição acesa e o sistema de agitação em funcionamento. Quando a temperatura se estabilizou, apertou-se o botão de ignição e com isso deu-se o início da combustão. A temperatura inicial foi anotada. Os dados registrados durante a combustão foram as variações da temperatura em função do tempo. A cada minuto fez-se o registro do incremento de temperatura. As leituras foram conduzidas até a estabilização. Desmontou-se a bomba calorimétrica e pesou-se o fio restante. Para fins de calibração, para cada amostra foram realizados ensaios em branco com pastilhas de 1 g de ácido benzóico, uma vez que o poder calorífico deste ácido é conhecido (2463 kJ/kg). Ainda, ensaios em duplicata foram conduzidos para cada uma das amostras estudadas, e a partir destes foram obtidos os desvios. Em caso de incoerência dos resultados, a metodologia experimental foi repetida.

O poder calorífico superior (PCS) dos vapores condensáveis (VCA/VCB) foi calculado através dos resultados da análise elementar. Para tal, foi utilizada a Equação 3.2 (CHEN e LIN 2016):

$$PCS \left( \frac{MJ}{kg} \right) = 0,2949C + 0,825H \quad (3.2)$$

Onde:

Os valores de C e H correspondem às concentrações em base seca de carbono e hidrogênio, respectivamente.

A análise do poder calorífico superior (PCS) do gás não-condensável foi obtida a partir dos resultados de cromatografia gasosa (CG) através da Equação 3.3.

$$PCS \left( \frac{MJ}{Nm^3} \right) = \frac{\sum y_i \cdot \Delta Hc^0}{0,0224} \quad (3.3)$$

Onde:

$y_i$  é a fração molar do gás  $i$ ;

$\Delta Hc^0$  é o calor de combustão para cada um dos gases quantificados (MJ/mol).

Na Tabela 3.5 são apresentados os valores do calor de combustão para cada um dos gases combustíveis.

Tabela 3.5. Valores do calor de combustão para os principais compostos presentes no gás não-condensável.

Gás	Calor de combustão (MJ/mol)
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	0,28
Monóxido de carbono (CO)	0,28
Metano (CH <sub>4</sub> )	0,89
Etano (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	1,56
Acetileno (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	1,30
Propano (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	2,22
Propeno (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> )	2,06

Fonte: Adaptado de PERES *et al.* (2013).

### 3.3.7 Análise de cloro

Para a análise de cloro das amostras de RTS, bem como do *char* produzido a partir da pirólise do RTS, foi utilizada a fração de água deionizada (5 mL) resultante da combustão realizada para a determinação do poder calorífico das referidas amostras, de acordo com a norma ASTM D4208-02e1 (adaptada). A metodologia utilizada para a análise de poder calorífico foi descrita anteriormente no item 4.3.6 deste trabalho. Assim, os 5 mL de água deionizada resultantes de cada combustão foram utilizados posteriormente para a determinação de cloretos pelo método titulométrico de Mohr. Neste método, a solução neutra contendo o cloreto é titulada com uma solução padrão de nitrato de prata 0,1 N em presença do indicador cromato de potássio. A solução de nitrato de prata foi preparada a partir de 17g de AgNO<sub>3</sub>, que foram secas em estufa por 1h a 105 °C e posteriormente transferidas para um balão volumétrico de 1000 mL. Água deionizada foi utilizada até a marca do balão para a completa dissolução do sal. Quando todos os íons Ag<sup>+</sup> tiverem se depositado sob a forma de AgCl, haverá a precipitação de cromato de prata (Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>), que possui coloração marrom-avermelhada (JEFFERY *et al.* 1989).

A titulação foi realizada com pH entre 7 e 10, uma vez que o íon cromato é a base conjugada do ácido crômico. Portanto, quando o pH é menor que 7, o íon cromato é protonado e o ácido crômico predomina na solução. Como consequência, em soluções ácidas a concentração de íons cromato é muito pequena para produzir o precipitado no ponto de equivalência. Contudo, se o pH estiver acima de 10, forma-se hidróxido de prata marrom, que mascara o ponto final. Um pH adequado é alcançado pela adição de carbonato de cálcio à

solução contendo o analito. Uma vez que a solubilidade do cloreto de prata e do cromato de prata dependem da temperatura, as titulações foram conduzidas na mesma temperatura (25 °C) e usando-se bastante agitação para obter-se um ponto final nítido.

A quantidade (% em massa) de cloro nas amostras (RTS/*char*) foi determinada a partir da Equação 3.4:

$$\% Cl = \frac{0,1 \cdot \text{Volume titulado em mL (sol.AgNO}_3\text{)} \cdot \text{Normalidade (sol.AgNO}_3\text{)} \cdot 35,45}{\text{Massa da amostra em gramas}} \quad (3.4)$$

A retenção de cloro no *char* foi obtida segundo a Equação (3.5).

$$\% \text{ Retenção Cloro} = \frac{A \cdot (B+C)}{D \cdot E} \cdot 100 \quad (3.5)$$

Onde:

A: concentração de cloro no *char* (mg/kg)

B: massa de *char* produzida no ensaio de pirólise (kg)

C: massa de CaO alimentada no ensaio de pirólise (kg)

D: concentração de cloro no RTS (mg/kg)

E: massa de RTS utilizada no ensaio de pirólise (kg)

### 3.3.8 Teor de metais

As análises do teor de metais presentes no RTS e no *char* foram conduzidas no Laboratório de Análises e pesquisas Ambientais (LAPAM) da Universidade de Caxias do Sul. A técnica utilizada para a determinação/quantificação foi espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado (ICP-OES).

Para a realização das análises, fez-se necessário o procedimento de preparo por digestão ácida. Considerando a heterogeneidade do RTS, três métodos de digestão ácida foram testados em triplicata. A média dos 9 resultados obtidos, foi considerada posteriormente para o cálculo de retenção dos metais no *char*.

#### 3.3.8.1 Procedimento de digestão ácida das amostras de *char*

Primeiramente, foram pesadas 0,2 g de cada uma das 34 amostras de *char*. Às amostras foram adicionados 25 mL de HCl 37% (v/v). Posteriormente, a solução foi mantida sob agitação em uma chapa de aquecimento (marca Tecnal TE-038) a 300 °C, até que a solução se tornou límpida e, que fosse finalizada a liberação dos gases (característica da digestão da matéria orgânica). Comumente, para que esta etapa seja totalmente concluída, é necessário um tempo

mínimo de 20 minutos. No caso das amostras em questão, um tempo total de 1 hora foi necessário. Ao término da liberação dos gases, a solução foi retirada da chapa de aquecimento, e foram adicionados mais 25 mL de HCl 37% (v/v). Em seguida a solução foi novamente colocada na chapa por mais 10 minutos (300 °C). Finalmente, foram adicionadas algumas gotas de HNO<sub>3</sub>, e as amostras permaneceram na chapa por mais 5 minutos para posteriormente serem resfriadas a temperatura ambiente. Em seguida, realizou-se o procedimento de filtração com papel filtro quantitativo JP41 de faixa Preta-Porosidade para finos (80 g/m<sup>3</sup>). Cada amostra foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL, sendo este avolumado com água destilada e deionizada.

### 3.3.8.2 Procedimento de digestão ácida da amostra de RTS

O método descrito anteriormente no item 3.3.8.1, também foi utilizado para as amostras de RTS. Contudo, foram necessárias 10 g de amostra e o procedimento foi conduzido em triplicata (primeiro método de digestão). Além do referido método, as normas 3050-B, revisão 02 da *US Environmental Protection Agency* (EPA) e 3120 B do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (2012) também foram conduzidas em triplicata (segundo método de digestão). Finalmente, foi utilizada uma metodologia de digestão por calcinação. A calcinação em mufla foi conduzida na temperatura de 450 °C e adicionaram-se HCl e HNO<sub>3</sub> (terceiro método de digestão).

As concentrações dos metais nas diferentes amostras foram obtidas a partir de curvas de calibração com concentrações conhecidas dos elementos metálicos de interesse (Alumínio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Níquel e Zinco).

A determinação da retenção dos metais no *char* ao longo dos ensaios de pirólise do RTS foi realizada segundo a Equação 3.6:

$$\% \text{ Retenção metal} = \frac{A \cdot (B+C)}{D \cdot E} \cdot 100 \quad (3.6)$$

Onde:

A: concentração de metal no *char* (mg/kg)

B: massa de *char* produzida no ensaio de pirólise (kg)

C: massa de CaO alimentada no ensaio de pirólise (kg)

D: concentração de metal no RTS (mg/kg)

E: massa de RTS utilizada no ensaio de pirólise (kg)

### 3.3.9 Análise cromatográfica dos gases não-condensáveis (CG)

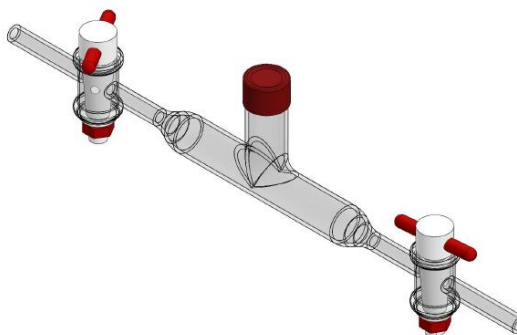
A análise dos gases não-condensáveis ( $H_2/CO/CH_4/CO_2$ ) foi realizada em um Cromatógrafo Gasoso, da marca Dani Master GC, provido de Detector por Condutividade Térmica (TCD – *Thermal Conductivity Detector*). Uma coluna capilar da *Supelco*<sup>®</sup> *Analytical*, modelo Carboxen<sup>™</sup> 1006, com comprimento de 30 m, 0,53 mm de diâmetro interno e 30  $\mu$ m de espessura de filme foi utilizada. A coluna é do tipo tubular aberta de camada porosa (PLOT – *Porous Layer Open Tubular*), produzida em sílica fundida e com fase estacionária composta por peneiras moleculares de carbono (CMS – *Carbon Molecular Sieve*).

Para a determinação de hidrocarbonetos ( $C_xH_y$ ) de maior massa molar foi utilizado um Detector por Ionização de Chama (FID – *Flame Ionization Detector*) e uma coluna capilar da *Agilent*<sup>®</sup> *Technologies*, com comprimento de 50 m, 0,53 mm de diâmetro interno e 10  $\mu$ m de espessura de filme. A coluna é do tipo tubular aberta de camada porosa (PLOT – *Porous Layer Open Tubular*), produzida em óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) com sais de cloreto de potássio (KCl). Hidrogênio ( $H_2$ ) e ar sintético foram empregados para alimentação da chama do detector.

Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Energia e Bioprocessos da Universidade de Caxias do Sul. Os gases coletados estavam diluídos em  $N_2$  (gás de arraste utilizado durante a reação de pirólise).

Para a coleta do gás não-condensável foi utilizado um coletor de vidro borosilicato (Figura 3.12). As análises cromatográficas não foram realizadas de forma contínua, ou seja, o gás foi coletado, e posteriormente analisado no cromatógrafo gasoso (*off-line*). O tempo de armazenamento máximo da amostra de gás no coletor foi de três dias, de forma a evitar possíveis alterações na amostra. O referido procedimento foi validado a partir da comparação dos resultados cromatográficos de amostras coletadas em *bags*. Os referidos *bags* são da marca SKC, modelo FlexFoil PLUS com capacidade para 10 L e conforme catálogo do fabricante, eles são ideais para amostragem de compostos não-condensáveis.

Figura 3.12. Vista isométrica do coletor utilizado para o armazenamento do gás não-condensável.



Fonte: Elaboração da presente autora.

Para as injeções das amostras foi utilizada uma micro seringa da marca Hamilton, do tipo Gastight. A referida seringa possui agulha removível, e um volume máximo de 1 ml. Outras informações inerentes a seringa são: comprimento da escala de 6 cm, total de divisões da escala de 50, temperatura máxima 115 °C, temperatura mínima 10 °C, pressão máxima de 200 psi, calibre da agulha 22, comprimento da agulha 51 mm e volume morto da agulha de 6,7 µl.

As especificações dos métodos cromatográficos desenvolvidos e utilizados neste trabalho estão sumarizadas na Tabela 3.6.

Tabela 3.6. Métodos cromatográficos utilizados para a detecção/quantificação dos gases não-condensáveis.

	<b>Método de identificação dos gases CO, CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub></b>	<b>Método de identificação do gás H<sub>2</sub></b>	<b>Método de identificação dos Hidrocarbonetos (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>)</b>
Detector	TCD	TCD	FID
Gás de arraste	He	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Fluxo do gás de arraste	10 mL/min	3 mL/min	5 mL/min
Temperatura do forno	35 °C	35 °C	Utilização de rampa de aquecimento (de 35-140 °C) com taxa de aquecimento de 5 °C/min
Temperatura do injetor	180 °C	100 °C	250 °C
Temperatura do detector	100 °C	100 °C	250 °C
Volume de gás injetado	0,5 mL	0,5 mL	0,1 mL
Razão de Split	1:4	1:5	1:100

Fonte: Elaboração da presente autora.

Para a construção das curvas de calibração nos métodos cromatográficos que utilizaram TCD como detector, dois padrões de concentrações conhecidas adquiridos junto a empresa *Air Liquide* foram utilizados, além dos gases metano (CH<sub>4</sub>) e hidrogênio (H<sub>2</sub>), ambos puros. O primeiro padrão possui a seguinte composição (% mol/mol): 10,1 de H<sub>2</sub>, 20,1 de CO e 69,8 de CO<sub>2</sub>. O segundo padrão possui a seguinte composição (% mol/mol): 39,99% de H<sub>2</sub>, 5,057% de CO e 54,95% de CO<sub>2</sub>.

Para a construção das curvas de calibração no método cromatográfico que utilizou FID como detector, um padrão adquirido junto a empresa *Air Liquide* com a seguinte composição (% mol/mol) foi utilizado: 6,11 de Etano, 6,10 de Propano, 6,12 de Propeno, 6,04 de Acetileno, 6,02 de Propadieno, 6,09 de n-Butano, 6,08 de Isobutano e 6,03 de Isobuteno.

### 3.3.10 Análise de Cromatografia Gasosa Acoplada a Espectrometria de Massas (CGMS)

A Cromatografia Gasosa Acoplada a Espectrometria de Massas (CGMS) dos vapores condensáveis (VCA/VCB) provenientes do processo de pirólise do RTS foram realizadas num cromatógrafo gasoso acoplado a um detector seletivo de massas (Hewlett Packard: 6890/MSD5973), equipado com o software HP Chemstation e espectroteca Wiley 275. Foi utilizada uma coluna capilar de sílica fundida HP-Innowax com comprimento de 30 m, 0,25 mm de diâmetro interno e 0,50 mm de espessura de filme. O programa de temperatura utilizado foi: interface 280 °C; Split ratio 1:100; gás de arraste Hélio; razão de fluxo: 1,0 mL/min. e volume injetado de 0,4 µL diluídos em álcool isopropílico.

Para o cálculo do rendimento global dos compostos presentes nos voláteis condensáveis, foi utilizada a Equação 3.7:

$$\text{Rendimento global (\%)} = \frac{(m_{VCA} \cdot C_A) + (m_{VCB} \cdot C_B)}{m_{RTS}} \quad (3.7)$$

$m_{VCA}$ : massa de voláteis condensáveis no primeiro borbulhador (g)

$m_{VCB}$ : massa de voláteis condensáveis nos demais borbulhadores (g)

$C_A$ : área do cromatograma para o composto no primeiro borbulhador (%)

$C_B$ : área do cromatograma para o composto nos demais borbulhadores (%)

$m_{RTS}$ : massa de RTS alimentada (g)

Rendimento global: rendimento do composto no processo de pirólise (%)



### 3.3.11 Espectroscopia de energia dispersiva (*Energy dispersive spectroscopy*)

A análise de espectroscopia de energia dispersiva (EDS) foi realizada no Laboratório Central de Microscopia (LcMic) da Universidade de Caxias do Sul em um microscópio de varredura por emissão de campo (MEVEC). Primeiramente a amostra de *char* (ensaio de pirólise 3) foi submetida a um procedimento inicial de secagem em estufa da marca Quimis, modelo B252, 1100 W, a 105 °C por 24 horas para a remoção da umidade. Posteriormente, foi macerada e colada em fita de carbono para finalmente ser metalizada com ouro e analisada.

Na análise de EDS quando o feixe de elétrons atinge a amostra, os átomos presentes na amostra são excitados, e ao voltarem para o estado fundamental, emitem fótons com energias características de um determinado átomo. Os fótons são assim identificados em termos de sua energia e contados pelo detector de raios X localizado dentro da câmara de vácuo. Desta forma, o conjunto hardware e software do sistema gera o espectro relativo ao número de contagens em função da energia, em keV, identificando os elementos químicos presentes na amostra. A análise de EDS é considerada uma análise qualitativa, sendo adequada para a identificação dos elementos químicos presentes em uma determinada amostra.

### 3.3.12 Difração de raios X (DRX)

A análise de difração de raios X (DRX) foi realizada no Laboratório Central de Microscopia (LcMic) da Universidade de Caxias do Sul em um difratômetro SHIMADZU XRD-6000, utilizando radiação de cobre, com ângulo de difração Theta-2 Theta, varredura entre 10 e 90° e tempo fixo de varredura com passo de 0,05°/s. Anterior a análise, a amostra de *char* (ensaio de pirólise 3) foi previamente seca em estufa da marca Quimis, modelo B252, 1100 W, a 105 °C por 24 horas para a remoção da umidade.

A técnica de difração de raios X é indicada para a identificação das fases cristalinas presentes em um material. Isto é possível porque em um material cristalino os átomos estão posicionados em um arranjo repetitivo ou periódico de longo alcance e a distância entre os planos cristalinos é comparável ao comprimento de onda dos raios X (CULLITY e STOCK, 2001).

### 3.3.13 Eficiência energética mínima (EE)

A eficiência energética mínima (EE) do processo de pirólise do RTS foi definida pela razão entre a energia química presente nos produtos (*char*/voláteis condensáveis) da reação de pirólise e a energia química presente no RTS (MESA-PÉREZ *et al.*, 2013). A eficiência energética mínima foi determinada através da Equação 3.8:

$$EE (\%) = \frac{(m_{char} \cdot PCS_{char}) + (m_{VCA} \cdot PCS_{VCA}) + (m_{VCB} \cdot PCS_{VCB})}{m_{RTS} \cdot PCS_{RTS}} \cdot 100 \quad (3.8)$$

$m_{char}$ : massa de *char* na presença de CaO (kg)

$PCS_{char}$ : poder calorífico superior do *char* na presença de CaO (MJ/kg) (Apêndice 4)

$m_{VCA}$ : massa de voláteis condensáveis no primeiro borbulhador (kg)

$PCS_{VCA}$ : poder calorífico superior dos voláteis condensáveis no primeiro borbulhador (MJ/kg) (Apêndice 4)

$m_{VCB}$ : massa de voláteis condensáveis nos demais borbulhadores (kg)

$PCS_{VCB}$ : poder calorífico superior dos voláteis condensáveis nos demais borbulhadores (MJ/kg) (Apêndice 4)

$m_{RTS}$ : massa de RTS alimentada (kg)

$PCS_{RTS}$ : poder calorífico superior do RTS (MJ/kg) (Tabela 4.4)

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados dos experimentos conduzidos neste trabalho. Inicialmente serão apresentados os resultados da caracterização das amostras, e posteriormente os resultados dos experimentos de pirólise do RTS.

##### 4.1 Identificação e quantificação dos materiais presentes no RTS

Os resultados da identificação e da quantificação dos materiais presentes no RTS estão apresentados na Tabela 4.1. De maneira complementar, os gráficos obtidos pela análise de Espectrometria no infravermelho com transformada de Fourier para os principais constituintes do RTS estão disponíveis no Anexo 1.

Tabela 4.1. Identificação e quantificação dos materiais presentes no RTS.

<b>Material</b>	<b>% (massa)</b>
Poliestireno (PS)	28,69
Polietileno (PE)	17,85
Finos*	10,00
Metais	7,83
Poliamida 6	5,73
Politereftalato de etileno (PET)	5,09
Polipropileno (PP)	4,94
Borracha	4,90
Madeira	3,29
Blenda de PP + PE	2,39
Poliamida 6.12	2,21
Espuma vinílica acetinada (EVA)	2,07
Poliuretano	1,92
Poliamida 6.6	1,77
Poliéster	0,91
PVC	0,41

\*Obtido por diferença.

Fonte: Elaboração da presente autora.

Através dos resultados apresentados na Tabela 4.1 é possível verificar que os principais polímeros presentes no RTS são o poliestireno e o polietileno (em torno de 46 % da massa da amostra). A amostra de RTS também possui uma fração significativa de outros polímeros (em torno de 27% em massa da amostra), além de metais, borracha e madeira.

Na amostra ainda foi detectada uma fração de partículas de pequenas dimensões, denominadas finos (tamanho de partícula menor do que 2,36 mm) e que não foram possíveis de serem separadas no procedimento de identificação. A referida fração é composta basicamente

de terra e areia. É importante destacar que as frações de espuma vinílica acetinada (EVA) e poliuretano (PU) não foram utilizadas nos experimentos de pirólise do RTS. Este procedimento foi adotado, uma vez que haveria a possibilidade de formação do ácido cianídrico (HCN) a partir do PU. Neste contexto, a degradação de diferentes espumas tem sido estudada. Desde 1972, WOOLEY postulou um mecanismo de degradação poliuretanos. De acordo com o autor, os poliuretanos degradam-se a baixas temperaturas (200-300 °C) produzindo produtos contendo nitrogênio, tais como o HCN.

#### 4.2 Distribuição granulométrica do RTS

Na Tabela 4.2 são apresentados os dados de distribuição granulométrica das amostras de RTS que foram utilizadas nos experimentos de pirólise. É importante destacar que as amostras foram previamente cominuídas conforme descrito anteriormente no item 3.1.1.

Tabela 4.2. Distribuição granulométrica das amostras de RTS.

<b>Corte granulométrico</b>	<b>% massa retido</b>	<b>% massa acumulado</b>
+ 4,75 mm	32,15	32,15
-4,75 +3,35 mm	29,55	61,70
-3,35 +2,36 mm	24,77	86,47
-2,36 +1,7 mm	10,07	96,54
-1,7 + 1,18 mm	3,25	99,79
-1,18 +0,85 mm	0,19	99,98
-0,85 mm	0,02	100,00

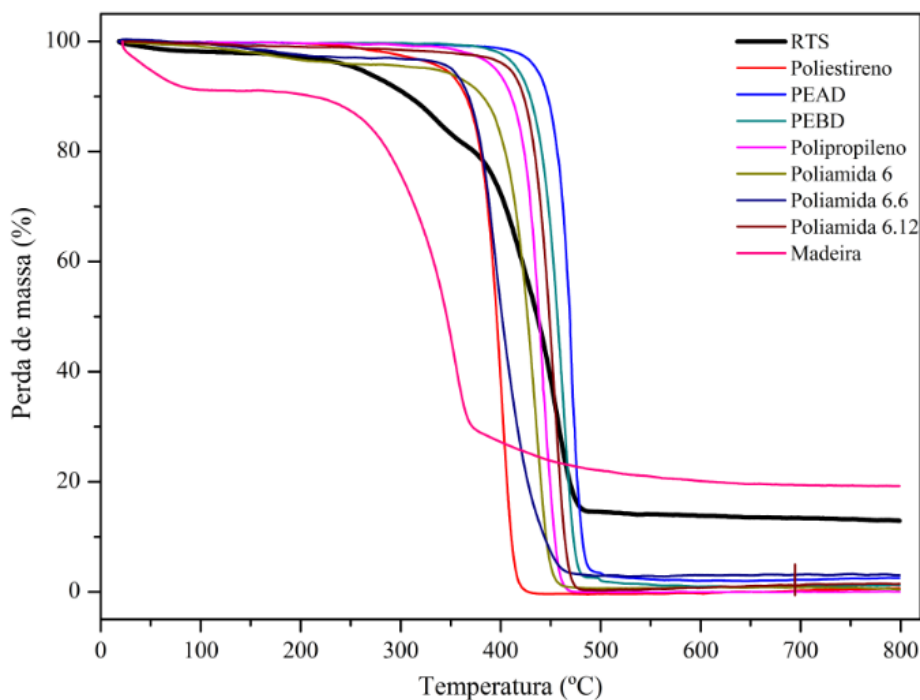
Fonte: Elaboração da presente autora.

Pode-se verificar que a maior parte das partículas estão distribuídas entre as peneiras + 4,75 mm, - 4,75 + 3,35 mm e - 3,35 + 2,36 mm, respectivamente. Nas três referidas peneiras a retenção foi de 86,47%.

#### 4.3 Análise termogravimétrica

A Figura 4.1 apresenta a curva termogravimétrica (TGA) do RTS e dos principais materiais que constituem o RTS (poliestireno, polietileno de alta densidade, polietileno de baixa densidade, polipropileno, poliamida 6, poliamida 6.6, poliamida 6.12 e madeira) na taxa de aquecimento de 5 °C/min. A fim de garantir a representatividade da análise, e considerando a heterogeneidade do RTS, as suas análises foram conduzidas em triplicata.

Figura 4.1. Termograma do RTS e dos materiais constituintes do RTS para a taxa de aquecimento de 5 °C/min.

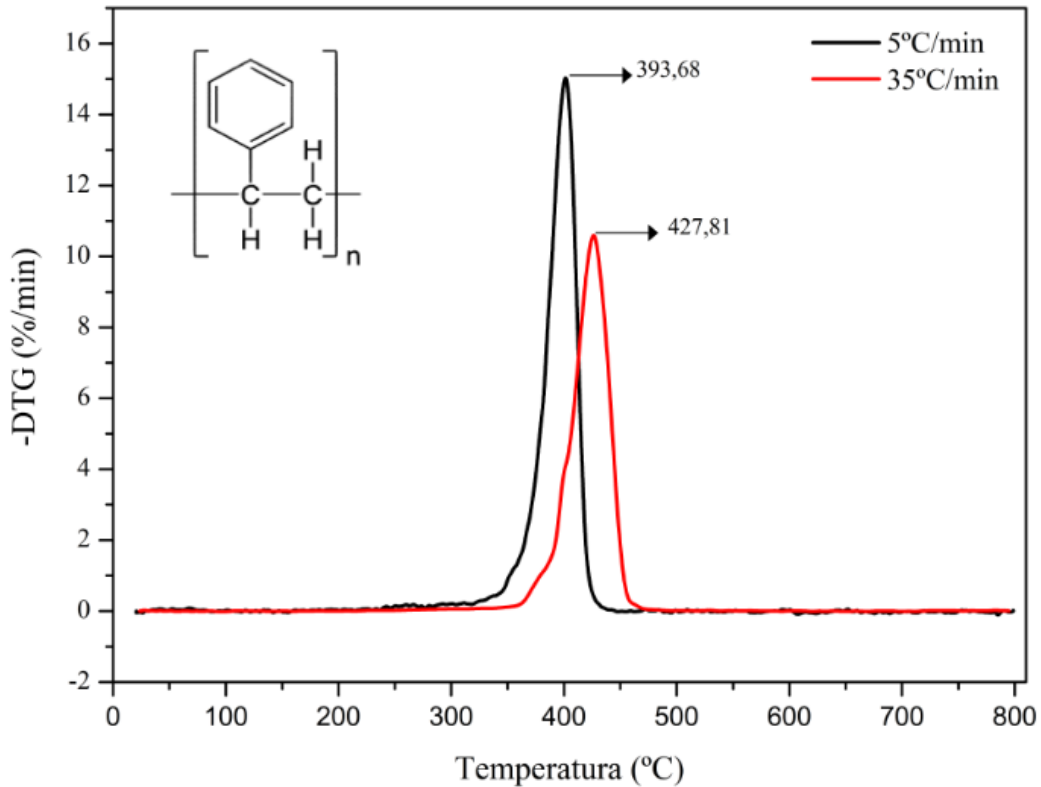


Fonte: Elaboração da presente autora.

Segundo a Figura 4.1 a amostra de RTS apresenta uma massa residual (massa de amostra remanescente a 800 °C) de aproximadamente 17%. Os polímeros presentes na amostra apresentam massa residual insignificante ao final do experimento. Desta forma, a massa residual observada para o RTS deve estar relacionada aos inorgânicos (metais/finos) e ao carbono fixo presentes na madeira, bem como nos demais materiais (como a borracha, por exemplo).

As curvas de derivada primeira (DTG) do poliestireno (PS) nas taxas de 5 e 35 °C/min, estão apresentadas na Figura 4.2. No PS (28,69% em massa de participação no RTS), metade dos átomos de carbono que constituem a sua cadeia polimérica são carbonos terciários (COSTA, 2006). Devido a este fato, a taxa máxima de degradação térmica do PS ocorre a temperaturas relativamente baixas (393 °C para a taxa de 5 °C/min e 427 °C para a taxa de 35 °C/min). A degradação térmica do PS ocorre através de um mecanismo radicalar iniciado pelo craqueamento aleatório da sua cadeia polimérica (COSTA 2006).

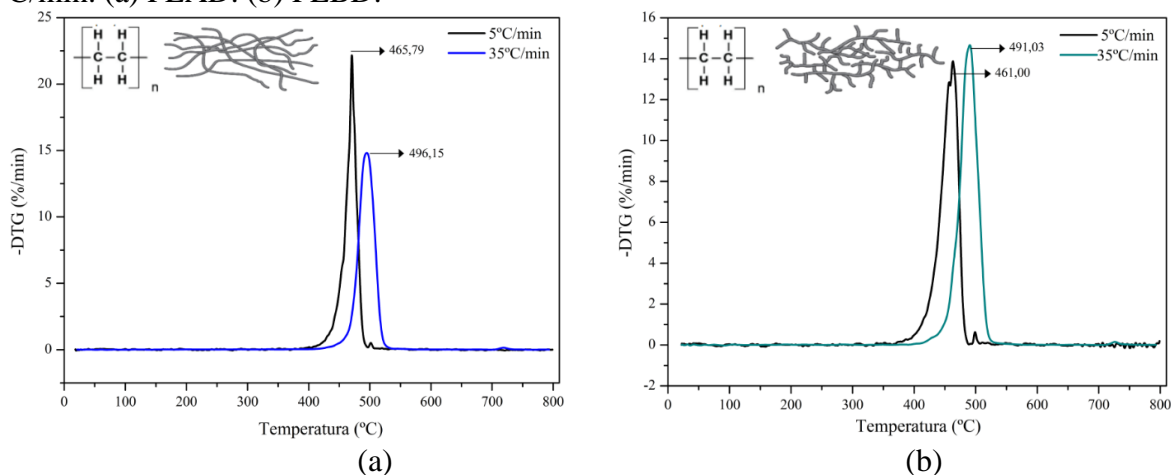
Figura 4.2. Derivada primeira para a amostra de poliestireno nas taxas de aquecimento de 5 e 35 °C/min.



Fonte: Elaboração da presente autora.

As curvas de derivada primeira (DTG) do polietileno de alta densidade (PEAD) e do polietileno de baixa densidade (PEBD) nas taxas de 5 e 35 °C/min, estão apresentadas na Figura 4.3 (a) e (b), respectivamente. Na identificação dos materiais presentes no RTS não foi possível segregar o PEAD do PEBD. Desta forma, a análise térmica foi conduzida de forma independente para os dois polímeros (PEAD/PEBD). O PEAD é um polímero altamente linear, enquanto que o PEBD apresenta algumas ramificações (cerca de 2% dos átomos de carbono do esqueleto das cadeias). Comumente, a degradação térmica do PEBD ocorre a temperaturas mais baixas que a do PEAD, uma vez que possui uma quantidade mais elevada de carbonos terciários. Esta diferença não ficou tão evidenciada nos DTGs apresentados pela Figura 4.3 (a) e (b). Desta forma, pode-se inferir que as taxas máximas de degradação de ambos os polímeros ocorrem a temperaturas semelhantes (em torno de 460 °C para a taxa de 5 °C/min e em torno de 490 °C para a taxa de 35 °C/min).

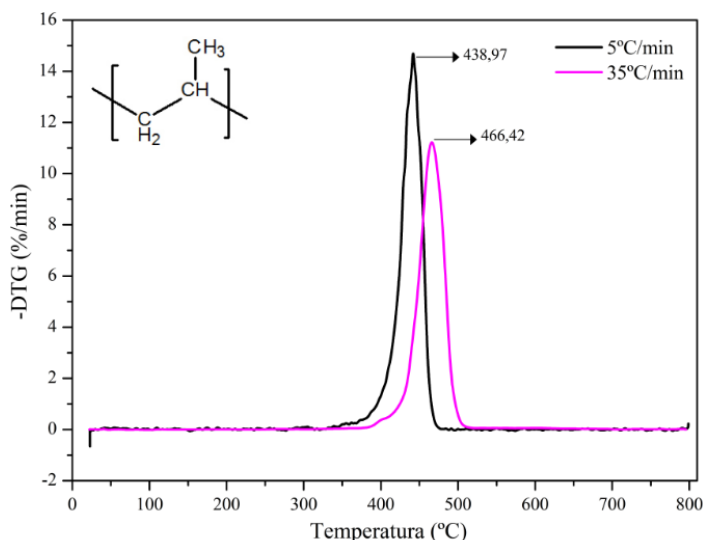
Figura 4.3. Derivada primeira para a amostra de polietileno nas taxas de aquecimento de 5 e 35 °C/min. (a) PEAD. (b) PEBD.



Fonte: Elaboração da presente autora.

As curvas de derivada primeira (DTG) do polipropileno (PP) nas taxas de 5 e 35 °C/min, estão apresentadas na Figura 4.4. O PP (4,88% em massa de participação no RTS) é caracterizado pela presença do grupo metila em cada segundo carbono da unidade repetida da cadeia. A temperatura (438 °C para a taxa de 5 °C/min e 466 °C para a taxa de 35 °C/min) onde ocorre a taxa de reação máxima do PP é inferior a observada para o PEAD e o PEBD, ou seja, o PP possui maior reatividade do que o PEAD e o PEBD. A quebra aleatória da cadeia polimérica do PP produz radicais primários e secundários, e conseqüentemente são formados radicais terciários através de reações de transferência intermolecular de hidrogênio (COSTA 2006), o que acaba por contribuir na sua elevada reatividade.

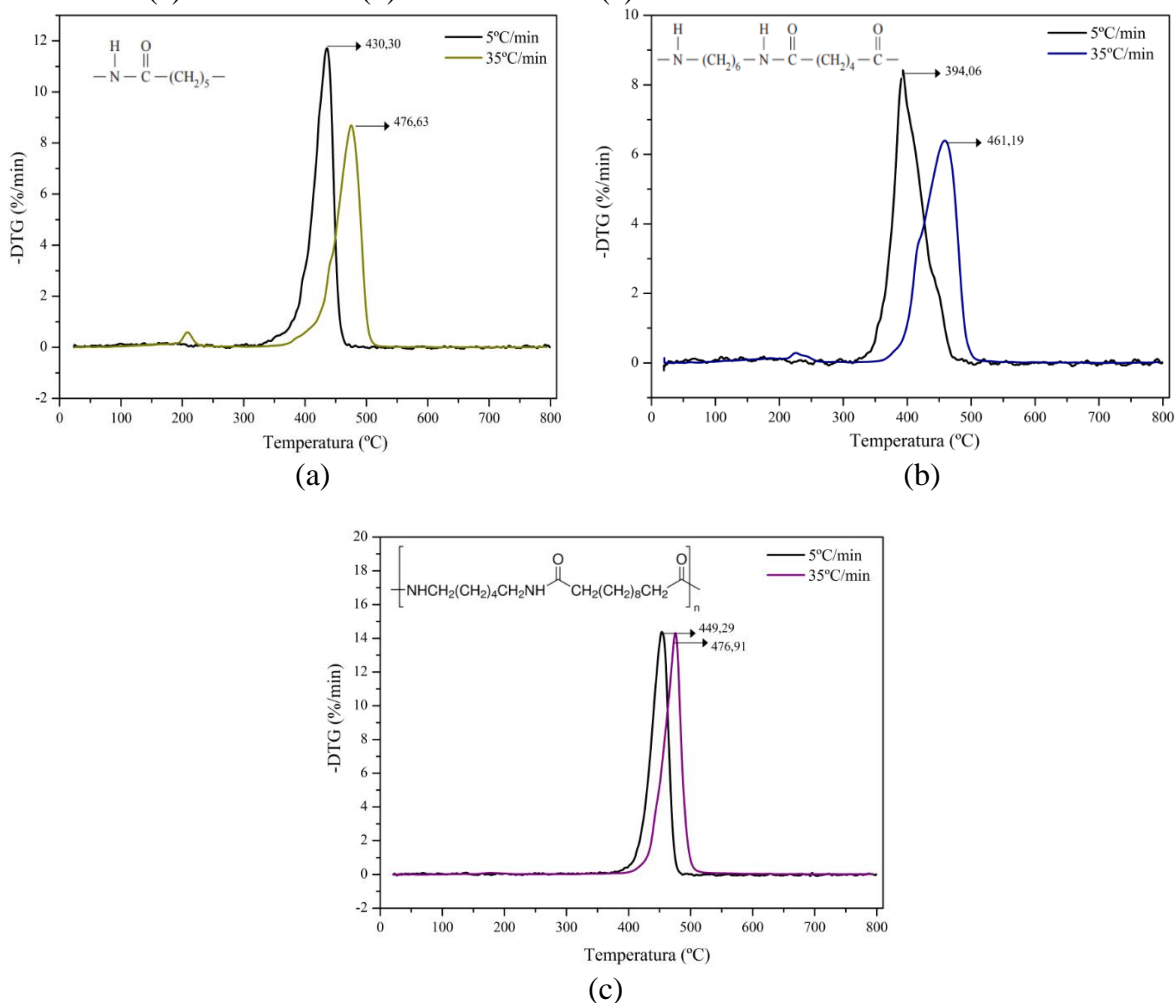
Figura 4.4. Derivada primeira para a amostra de polipropileno nas taxas de aquecimento de 5 e 35 °C/min.



Fonte: Elaboração da presente autora.

As curvas de derivada primeira (DTG) da poliamida 6, poliamida 6.6 e poliamida 6.12 nas taxas de 5 e 35 °C/min, estão apresentadas na Figura 4.5 (a), (b) e (c), respectivamente. De acordo com HERRERA, MATUSCHEK e KETTRUP (2001) os compostos majoritários obtidos pela degradação das poliamidas (6, 6.6 e 6.12), são as lactamas (monômeros cíclicos e dímeros), nitrilas olefínicas, olefinas e oligômeros cíclicos. O primeiro estágio da sua decomposição está associado à cisão das ligações amidas (mais fracas), com consequente formação de lactamas, enquanto o segundo estágio está relacionado à quebra das ligações mais estáveis (C–C). Ainda de acordo com os mesmos autores, o intervalo de degradação das poliamidas, está compreendido entre 350 e 480 °C, o que pode ser confirmado através da Figura 4.5 (a), (b) e (c).

Figura 4.5. Derivada primeira para as amostras de poliamida nas taxas de aquecimento de 5 e 35 °C/min. (a) Poliamida 6. (b) Poliamida 6.6. (c) Poliamida 6.12.

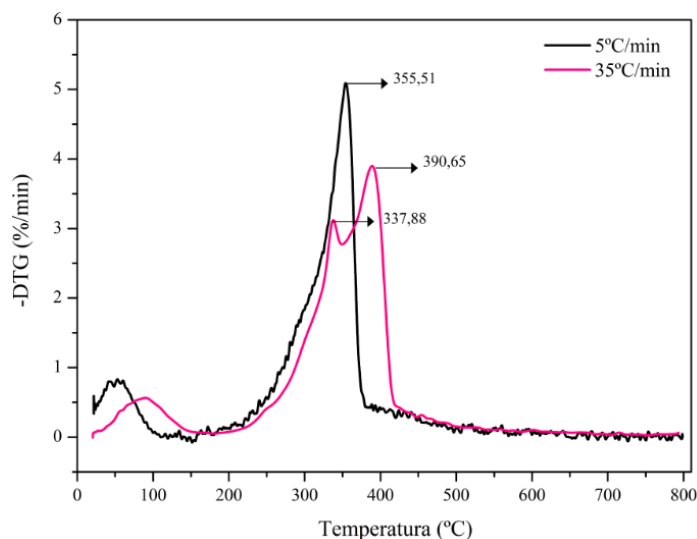


Fonte: Elaboração da presente autora.



As curvas de derivada primeira (DTG) da madeira presente no RTS nas taxas de 5 e 35 °C/min estão apresentadas na Figura 4.6. Têm sido extensivamente reportado na literatura estudos sobre a degradação térmica de materiais lignocelulósicos (madeira). Os componentes principais dos materiais lignocelulósicos são a celulose, a hemicelulose e a lignina. A hemicelulose apresenta sua faixa de degradação térmica entre 225 e 325 °C, enquanto a celulose entre 325 e 375 °C (WONGSIRIAMNUAY e TIPPAYAWONG, 2010). Para a lignina, a faixa de degradação está compreendida entre 250 e 500 °C. Para a taxa de aquecimento de 5 °C/min, é possível observar que a taxa máxima de degradação térmica da amostra de madeira ocorre a 355 °C, e deve estar associada a degradação da celulose. Para a taxa de aquecimento de 35 °C/min, é possível observar um ombro a 337 °C, típico da degradação da hemicelulose. A taxa máxima observada a 390 °C está associada a degradação da celulose presente na amostra.

Figura 4.6. Derivada primeira para a amostra de madeira nas taxas de aquecimento de 5 e 35 °C/min.



Fonte: Elaboração da presente autora.

Para todos os materiais submetidos a análise térmica (da Figura 4.2 até a Figura 4.6) foi possível observar que com o aumento da taxa de aquecimento a curva DTG é deslocada para a direita, ou seja, as taxas máximas de degradação térmica ocorrem a temperaturas mais elevadas. Tal fenômeno pode ser atribuído ao fato de que com o aumento da taxa de aquecimento, há uma redução do tempo de residência da amostra e conseqüentemente a temperatura requerida para a decomposição da matéria orgânica é maior, deslocando as taxas máximas de degradação térmica para a direita (COLLAZZO *et al.* 2017).

As curvas de derivada primeira (DTG) do RTS nas taxas de 5 e 35 °C/min, estão apresentadas na Figura 4.7. Para ambas as taxas de aquecimento, a degradação térmica do RTS

ocorre em 3 fases distintas. As características relacionadas as fases de decomposição do RTS, tais como a temperatura inicial ( $T_i$ ), a temperatura final ( $T_f$ ), a temperatura onde a taxa de reação é máxima ( $T_{m\acute{a}x}$ ), a perda de massa máxima (%/min) e a perda de massa (%), estão apresentadas na Tabela 4.3.

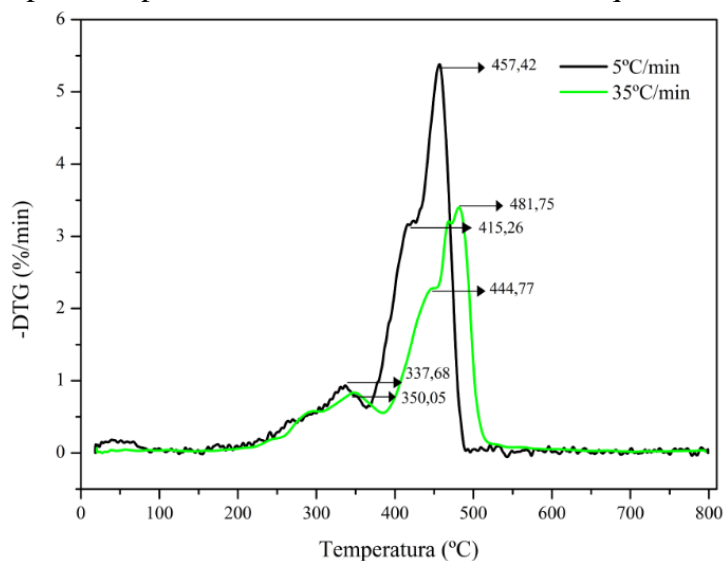
Tabela 4.3. Características relacionadas as fases de decomposição térmica do RTS nas taxas de aquecimento de 5 e 35 °C/min.

Taxa de aquecimento (°C/min)	$T_i$ (°C)	$T_f$ (°C)	$T_{m\acute{a}x}$ (°C)	Perda máx. (%/min)	Perda de massa (%)
Primeira fase de decomposição					
5	225,84	364,86	337,68	0,93	15,38
35	231,11	374,99	350,05	0,84	15,82
Segunda fase de decomposição					
5	364,68	428,29	415,26	3,21	25,57
35	374,99	456,02	444,77	2,30	28,12
Terceira fase de decomposição					
5	428,29	498,22	457,42	5,38	41,01
35	456,02	518,77	481,75	3,39	36,39

Fonte: Elaboração da presente autora.

A primeira fase deve estar associada a degradação térmica da hemicelulose e da celulose presentes na madeira contida no RTS. A formação do ombro na curva DTG a temperaturas mais elevadas indica a degradação do PS contido no RTS e a fase final de degradação térmica está associada a degradação dos demais polímeros presentes no RTS.

Figura 4.7. Derivada primeira para a amostra do RTS nas taxas de aquecimento de 5 e 35°C/min.



Fonte: Elaboração da presente autora.

#### 4.4 Análise imediata, elementar e de poder calorífico superior do RTS

A Tabela 4.4 apresenta os resultados da análise imediata (matéria volátil, cinzas e carbono fixo), elementar e de poder calorífico superior das amostras de RTS.

Tabela 4.4. Análise imediata, elementar e de poder calorífico superior do RTS.

Parâmetro	RTS
<i>Análise imediata</i> * (%m/m)	
Matéria volátil (MV)	76,22 ± 6,90
Cinzas (Cz)	16,74 ± 6,86
Carbono fixo (CF)**	7,04 ± 6,86
<i>Análise elementar</i> * (%m/m)	
Enxofre (S)	0,21
Carbono (C)	72,92
Hidrogênio (H)	9,86
Nitrogênio (N)	1,45
Oxigênio (O)**	14,23
Cloro (Cl)	1,33 ± 0,13
<i>Poder calorífico superior (MJ/kg)</i>	30,01 ± 1,22

Fonte: Elaboração da presente autora.

\*base seca

\*\*obtido por diferença

Através dos dados apresentados na Tabela 4.4, é possível verificar que o RTS apresenta elevada quantidade de matéria volátil e baixa quantidade de carbono fixo. As cinzas presentes no RTS são provenientes da matéria inorgânica contida no resíduo, tais como metais, areia e solo. Em um trabalho recente GUNASEE *et al.* (2016), reportaram o teor de cinzas para determinados polímeros puros, além de resultados de cinzas para alguns resíduos. O intuito dos autores foi a avaliação dos efeitos sinérgicos da pirólise e da combustão de resíduos sólidos municipais. Os valores apresentados por eles foram: 2,36 % de cinzas para o PVC, 0,15 % para o PP e 0,24 % para o PS. Assim, o elevado teor de cinzas encontrado nas amostras de RTS deste trabalho (16,74 ± 6,86), indica que as amostras apresentam uma quantidade importante de inorgânicos. Contudo, o elevado teor de matéria volátil presente no RTS torna-o atrativo para o processo de conversão termoquímica (pirólise).

Além disto, os resultados da análise imediata deste trabalho diferem dos obtidos por MIRABILE *et al.* (2002), que obtiveram 54,18% de matéria volátil (MV) e 36,2% de cinzas. Esta diferença pode estar associada ao fato dos autores terem caracterizado uma amostra com tamanho de partícula inferior a 2 mm. Outra questão relevante é a composição do resíduo utilizado pelos autores e o resíduo caracterizado neste trabalho. Conforme comentado anteriormente, o resíduo dos trituradores que é produzido no Brasil possui características

distintas dos resíduos de trituradores gerados em outros países. Em geral, em outros países os trituradores utilizam somente automóveis em sua alimentação, enquanto os trituradores nacionais são alimentados com diferentes tipos de sucata, incluindo-se as chamadas sucatas de obsolescência, que são muito heterogêneas quanto aos aços e procedências externas as usinas siderúrgicas.

Já os resultados apresentados por JOUNG *et al.* (2007), que caracterizaram duas amostras provenientes de RTS automotivo apresentam resultados próximos aos encontrados neste trabalho, embora os resíduos tenham diferentes procedências. Os autores encontraram 80,80% de MV e 19,06% de cinzas para o resíduo denominado “RTS leve” e, 76,47% de MV e 22,30% de cinzas para o resíduo denominado “RTS pesado”.

Com relação a análise elementar, é possível observar que as amostras de RTS apresentam elevados teores de carbono e hidrogênio. Estes resultados estão associados à elevada quantidade de polímeros e borrachas que compõem esta amostra.

A concentração de enxofre (0,21%) em sua composição possivelmente está associada a presença de borracha no RTS. Alguns pesquisadores realizaram a análise de enxofre de pneus inservíveis e os teores encontrados por eles variaram de 1,5 a 2,01% (WILLIAMS e CUNLIFFE, 1998; ISLAM *et al.*, 2011; FERNÁNDEZ *et al.*, 2012).

A concentração de cloro no RTS foi de 1,33 %. A presença de cloro é extremamente relevante para processos de tratamento térmico, em especial pela possível formação de dibenzo-para-dioxinas policloradas (PCDD) e dibenzofuranos policlorados (PCDF). O principal mecanismo de formação das PCDD/F é conhecido como "*de novo synthesis*", e envolve a estrutura do carbono residual contido na superfície das cinzas volantes. A formação das PCDD/F está associada à presença de ácido clorídrico (HCl) ou gás cloro na fase gás (Cl<sub>2</sub>). A formação destes compostos ocorre preferencialmente entre 300 e 400 °C (GODINHO, 2006). A presença de enxofre no combustível minimiza significativamente a formação de PCDD/F. Para combustíveis com baixa razão Cl/S (<0,1) a formação de PCDD/F é inibida.

Novamente os resultados obtidos por MIRABILE *et al.* (2002), diferem dos encontrados neste trabalho, principalmente com relação aos teores de carbono e hidrogênio. Os autores encontraram 0,2% de S, 49,5% de C, 5,3% de H e 4,5% de N. Já os resultados obtidos por DE MARCO *et al.* (2007) e JOUNG *et al.* (2007) para as amostras de RTS pesado, são similares aos obtidos por este trabalho. DE MARCO *et al.* (2007) encontraram 0,9% de S, 70,9% de C, 6,4% de H e 1,2% de N, enquanto JOUNG *et al.* (2007) encontraram 0,14% de S, 64,75% de C, 10,07% de H e 0,13% de N.

O poder calorífico superior do RTS utilizado nos experimentos de pirólise foi de 30,01 ± 1,22 MJ/kg. Uma vez que o poder calorífico de um determinado material está relacionado com a quantidade de C e H presentes neste material, o valor de poder calorífico superior encontrado, é atribuído ao alto teor de C (72,92 %) e H (9,86%) do RTS. Os valores de poder calorífico reportados na literatura para o RTS que foram mencionados na parte introdutória desta tese, estão compreendidos entre 20 e 30 MJ/kg (HARDER e FORTON 2007).

#### 4.5 Análise do teor de metais no RTS

Os resultados dos teores de metais presentes no RTS (Alumínio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Níquel e Zinco) estão apresentados no Apêndice 2. Os referidos resultados foram utilizados para o cálculo da retenção (em massa) dos metais no *char*. Na Tabela 4.5 são apresentados os valores médios das concentrações dos metais presentes no RTS (obtidos a partir da média dos resultados apresentados no Apêndice 2).

Tabela 4.5. Valores médios das concentrações dos metais presentes no RTS.

Amostra	Metais presentes no RTS								
	Resultados expressos em mg/kg								
	Fe	Zn	Al	Cu	Cr	Mn	Pb	Ni	Co
RTS	22885	4827	4499	2923	408	362	259	245	5

Fonte: Elaboração da presente autora.

A presença de metais no RTS apresentou a seguinte ordem de concentração: Fe>>>Zn>Al>Cu>Cr>Mn>Pb>Ni>Co. Para fins de comparação, BORSEJON *et al.* (2000), encontraram valores próximos para Al (entre 1600 e 8600 mg/kg), Cu (entre 1600 e 2800 mg/kg) e Zn (entre 1400 e 5300 mg/kg). O valor do elemento Pb está abaixo dos reportados pelos seguintes pesquisadores (DANIELS, JODY e BONSIGNORE 1992; BORJESON *et al.* 2000; ROY e CHAALA 2001), assim como do elemento Fe. O Cr apresentou valor próximo ao encontrado por DAY *et al.* (1993) (entre 200 e 400 mg/kg) e o Ni apresentou valor próximo ao encontrado por ROY e CHAALA (2001) (entre 180 e 930 mg/kg).

#### 4.6 Rendimentos do processo de pirólise

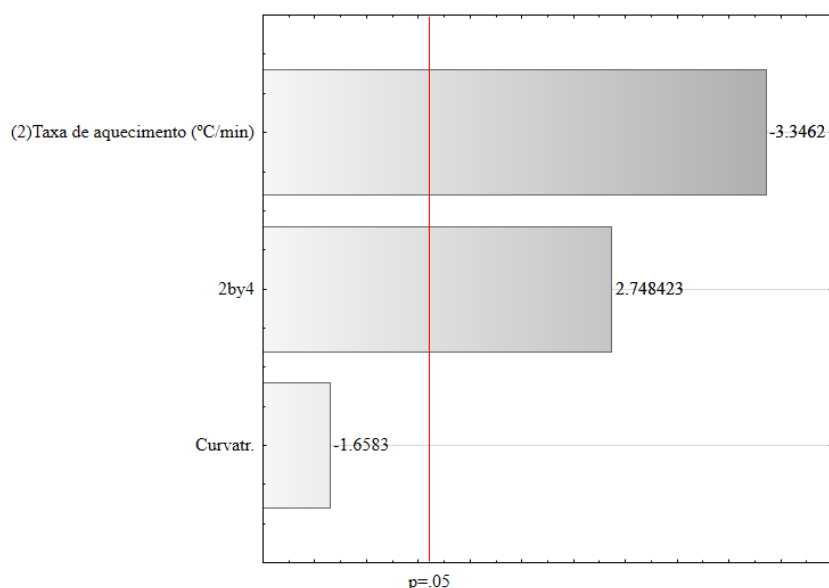
Durante a conversão termoquímica do RTS houve a formação de três produtos: *char*, vapores condensáveis e gás não-condensável. Os rendimentos dos produtos obtidos neste

trabalho estão apresentados no Apêndice 3. Os referidos rendimentos estão diretamente relacionados com a composição e a estrutura química dos materiais presentes no RTS, bem como as condições experimentais do processo de pirólise.

#### 4.6.1 Rendimento de gás não-condensável

A análise estatística dos resultados obtidos a partir do planejamento experimental com relação ao rendimento de gás não-condensável (%) está apresentada no diagrama de Pareto (Figura 4.8). Segundo o diagrama de Pareto, com um nível de confiança de 95%, a taxa de aquecimento exerce efeito significativo ( $\text{Valor-p} < 0,05$ ) sobre o rendimento de gás não-condensável. A interação entre a taxa de aquecimento e a razão CaO/RTS também exerce efeito significativo sobre o rendimento de gás não-condensável.

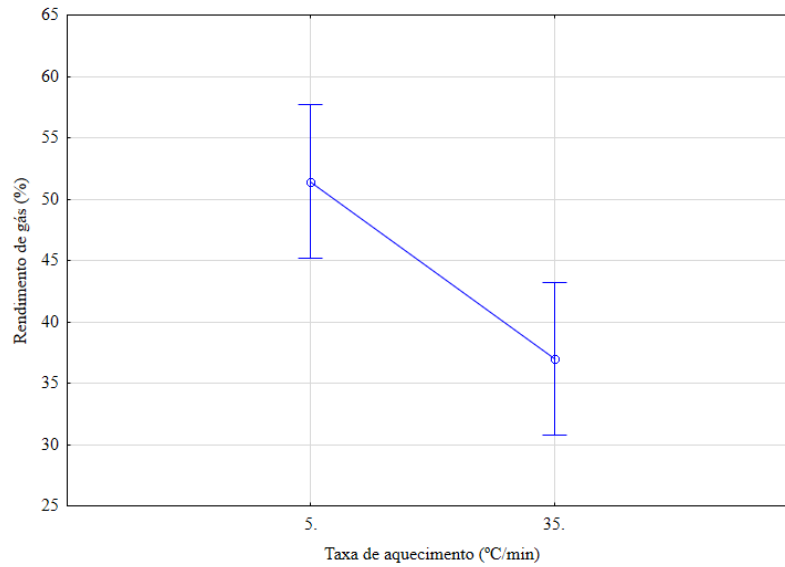
Figura 4.8. Diagrama de Pareto para a variável de resposta rendimento de gás não-condensável (%).



Fonte: Elaboração da presente autora.

Através da Figura 4.9 é possível verificar como a variável taxa de aquecimento influenciou no rendimento de gás não-condensável. Para a menor taxa de aquecimento (5 °C/min) foram obtidos os maiores rendimentos de gás não-condensável. De acordo com PASEL e WANZL (2003), a utilização de uma baixa taxa de aquecimento favorece o craqueamento e a recombinação, que levam a rendimentos mais elevados de gás não-condensável.

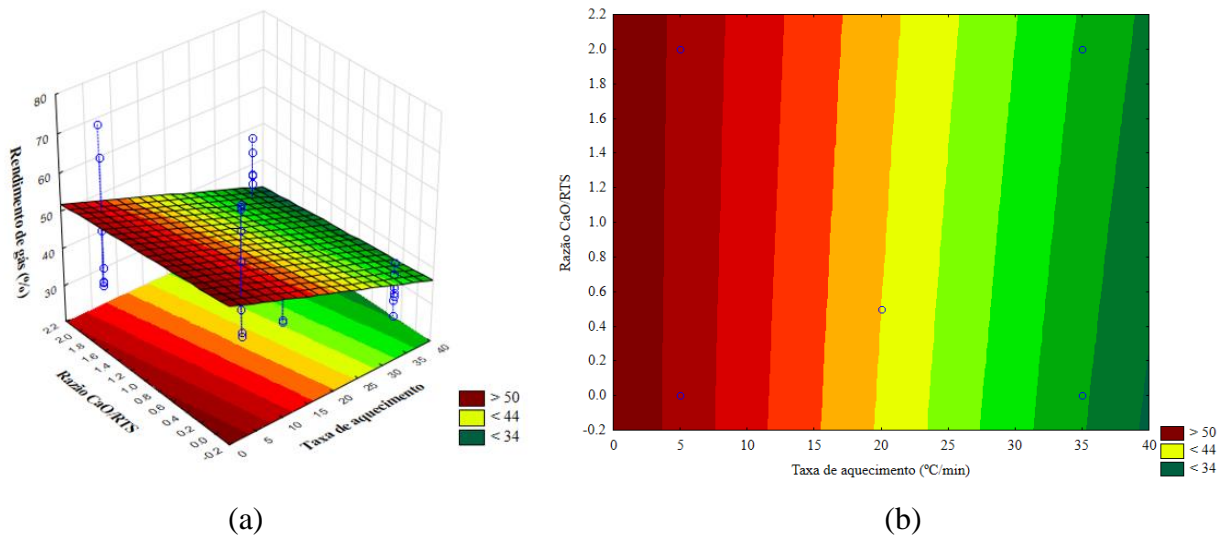
Figura 4.9. Variação do rendimento de gás não-condensável em função da taxa de aquecimento.



Fonte: Elaboração da presente autora.

A superfície de resposta e a curva de contorno para o rendimento de gás não-condensável (%), considerando a interação significativa envolvida, é apresentada na Figura 4.10. A partir da Figura 4.10 é possível observar que a utilização de uma taxa de aquecimento menor (5 °C/min), associada a presença de CaO, resultou nos maiores rendimentos de gás não-condensável (> 50 %). Segundo a curva de contorno (Figura 4.10 (b)), a razão CaO/RTS apresenta uma leve influência sobre o rendimento de gás não-condensável, evidenciada apenas na região próxima a taxa de aquecimento de 35 °C/min.

Figura 4.10. Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o rendimento de gás não-condensável (%), considerando a interação entre as variáveis taxa de aquecimento e razão CaO/RTS.



Fonte: Elaboração da presente autora.

#### 4.6.1.1 Poder calorífico do gás não-condensável gerado no processo de pirólise do RTS

A análise estatística do poder calorífico ( $\text{MJ}/\text{Nm}^3$ ) do gás não-condensável está apresentada no diagrama de Pareto (Figura 4.11). A análise estatística foi obtida considerando a concentração dos componentes presentes no gás não-condensável em base livre de  $\text{N}_2$ . A concentração em base livre de  $\text{N}_2$  foi obtida de acordo com a Equação 4.1 (DE CONTO, 2016):

$$Y_i = \frac{Y'_i}{1 - Y'_{\text{N}_2}} \quad (4.1)$$

Onde:

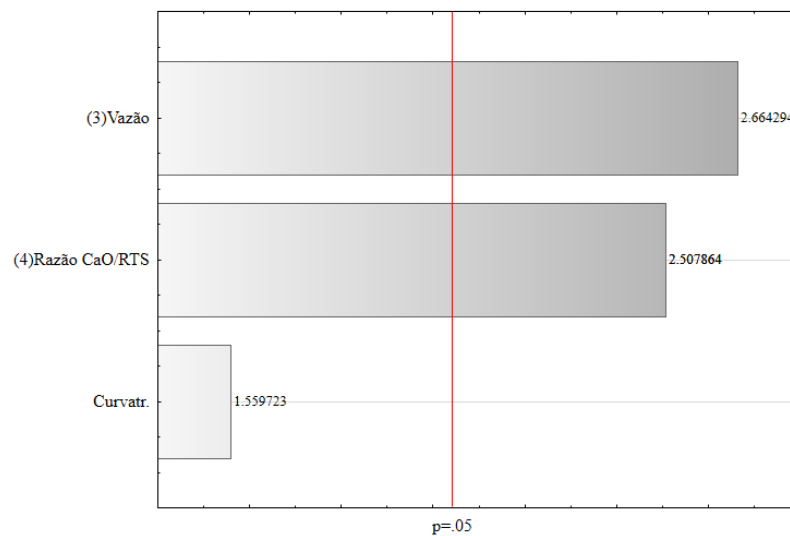
$Y_i$  é a fração molar do gás isento de  $\text{N}_2$ ;

$Y'_i$  é a fração molar do gás diluído em  $\text{N}_2$ ;

$Y'_{\text{N}_2}$  é a fração molar do  $\text{N}_2$  na corrente gasosa analisada.

O poder calorífico do gás não-condensável para todas as condições experimentais avaliadas neste trabalho está apresentado no Apêndice 4. Também foram inseridos no referido apêndice os resultados do poder calorífico dos demais produtos formados (vapores condensáveis e *char*). Segundo o diagrama de Pareto (Figura 4.11), com um nível de confiança de 95%, as variáveis vazão de gás inerte ( $\text{N}_2$ ) e razão de  $\text{CaO}/\text{RTS}$  exercem efeito significativo ( $\text{Valor-p} < 0.05$ ) sobre o poder calorífico do gás não-condensável.

Figura 4.11. Diagrama de Pareto para a variável de resposta poder calorífico do gás não-condensável ( $\text{MJ}/\text{Nm}^3$ ) produzido nos ensaios de pirólise do RTS (base livre de  $\text{N}_2$ ).

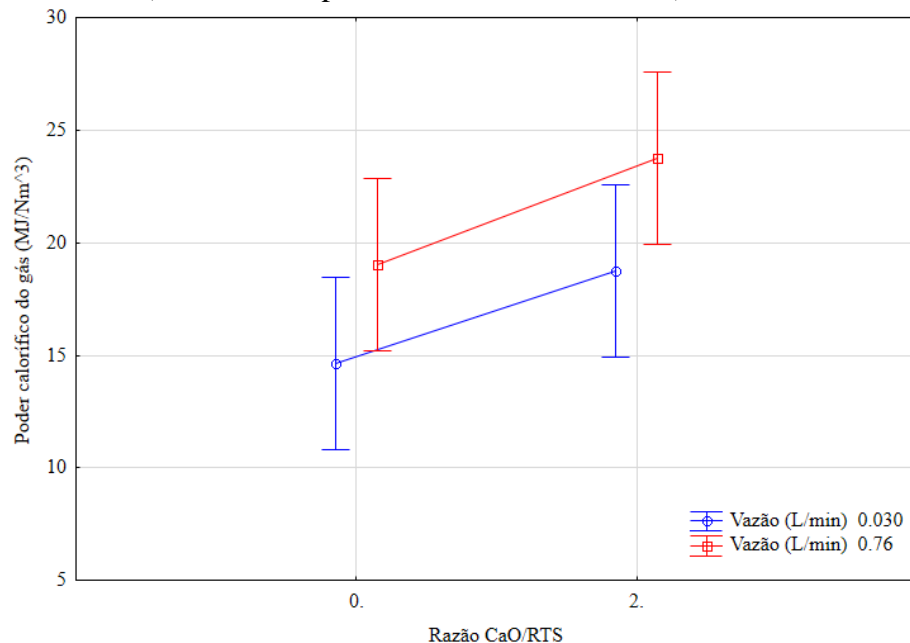


Fonte: Elaboração da presente autora.



A Figura 4.12 mostra o comportamento do poder calorífico do gás não-condensável (valores expressos em base livre de N<sub>2</sub>) em função da variação da vazão de gás inerte (N<sub>2</sub>) e da razão CaO/RTS. Para ambas as vazões de gás inerte (N<sub>2</sub>) (0,03 e 0,76 L/min) houve um aumento do poder calorífico do gás não-condensável com o incremento da razão CaO/RTS. A presença de CO<sub>2</sub> no gás não-condensável reduz o seu poder calorífico. Na presença de CaO é esperada a ocorrência da reação (2.2), e conseqüentemente o aumento do poder calorífico do gás não-condensável. Assim, o aumento do poder calorífico na presença do CaO deve estar associado a captura do CO<sub>2</sub>. No item 4.7 será apresentada a composição do gás não-condensável, e esta discussão será retomada. Além disto, segundo a Figura 4.12, a utilização de uma vazão maior de gás inerte (0,76 L/min), também favoreceu o aumento do poder calorífico do gás não-condensável. Com o aumento da vazão de gás inerte há uma redução significativa do tempo de residência dos vapores de pirólise no leito, e conseqüentemente uma redução da ocorrência das reações secundárias. Os maiores valores obtidos (aproximadamente 25 MJ/Nm<sup>3</sup>) estão de acordo com os resultados obtidos por outros autores (BORSEJON *et al.* 2000; RAUSA e POLLESEL 1997). Para fins de comparação, o gás natural tem um poder calorífico de aproximadamente 35 MJ/Nm<sup>3</sup>, indicando um fator positivo para o gás não-condensável obtido a partir dos experimentos de pirólise do RTS.

Figura 4.12. Variação do poder calorífico do gás não-condensável em função da vazão de inerte (N<sub>2</sub>) e da razão CaO/RTS (resultados expressos em base livre de N<sub>2</sub>).

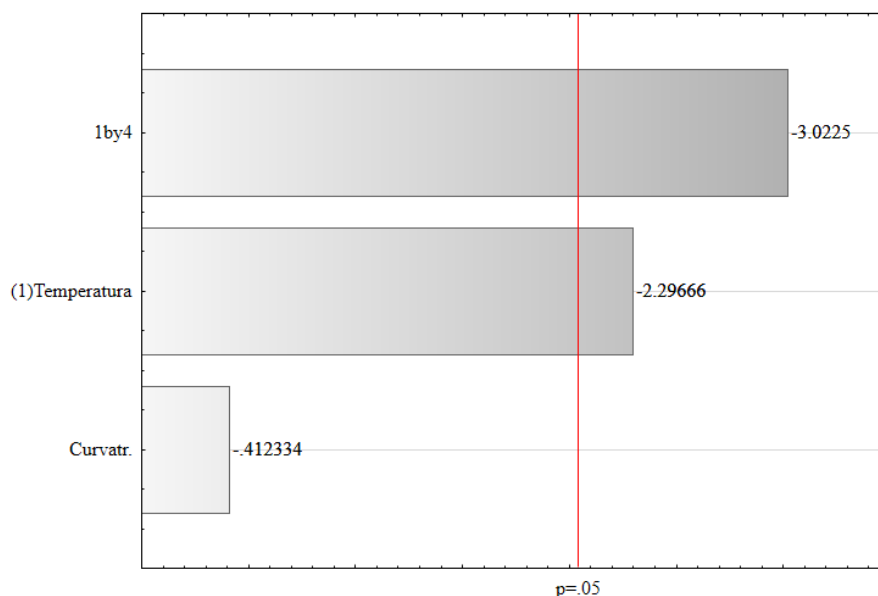


Fonte: Elaboração da presente autora.

#### 4.6.2 Rendimento de *char*

A análise estatística dos resultados obtidos a partir do planejamento experimental com relação ao rendimento de *char* (%) está apresentada no diagrama de Pareto (Figura 4.13). O diagrama indica, com um nível de confiança de 95%, que a variável temperatura exerce efeito significativo (Valor-p < 0,05) sobre o rendimento de *char*. A interação entre a temperatura e a razão CaO/RTS também exerce efeito significativo sobre o rendimento de *char*. É importante destacar que para a determinação do rendimento de *char* dos experimentos na presença de CaO, a massa de *char* foi obtida pela diferença entre a massa no final do experimento e a massa de CaO adicionada no início do experimento.

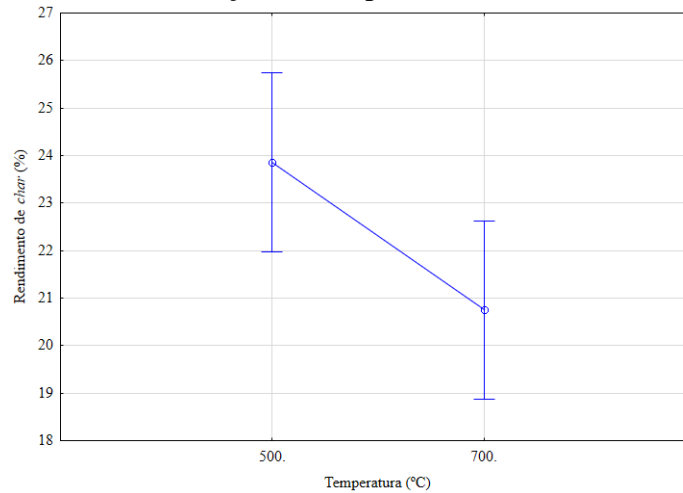
Figura 4.13. Diagrama de Pareto para a variável de resposta rendimento de *char* (%).



Fonte: Elaboração da presente autora.

A Figura 4.14 indica como o rendimento de *char* (%) variou em função da temperatura. Os experimentos conduzidos a 500 °C resultaram em maiores rendimentos de *char*. PARK *et al.* (2012) avaliaram os rendimentos obtidos a partir da pirólise de combustíveis poliméricos sob temperaturas de 400, 600 e 800 °C. Segundo os autores, o rendimento do produto sólido diminuiu com o aumento da temperatura, similarmente aos resultados obtidos neste trabalho.

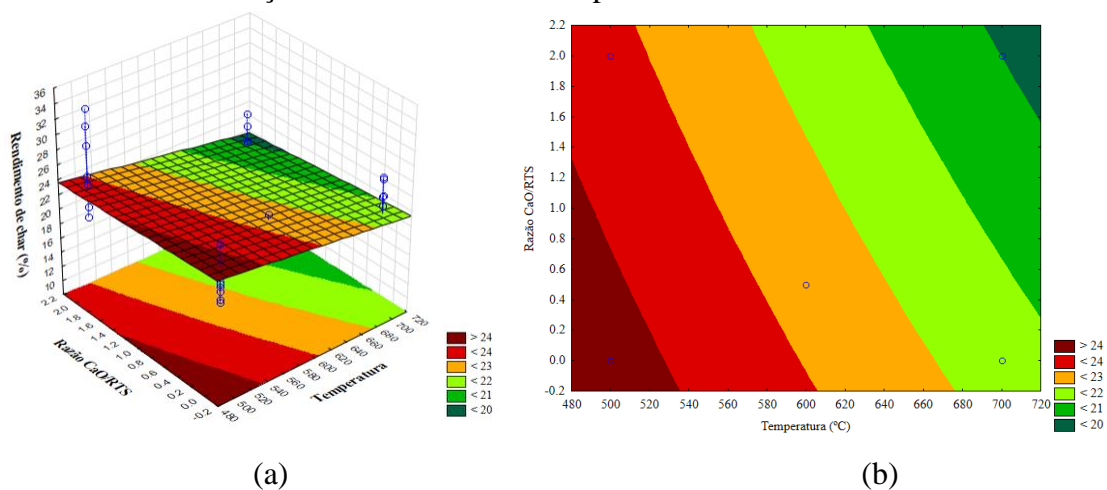
Figura 4.14. Rendimento de *char* em função da temperatura.



Fonte: Elaboração da presente autora.

A superfície de resposta e a curva de contorno para o rendimento de *char* (%), considerando a interação significativa envolvida, é apresentada na Figura 4.15. Segundo a curva de contorno (Figura 4.15 (b)), é possível verificar que a razão CaO/RTS exerce influência sobre o rendimento de *char* em toda a faixa de temperatura. Os maiores rendimentos de *char* ( $\geq 24$  %) foram obtidos nos experimentos com a utilização de uma temperatura menor (500 °C), na ausência de CaO. A ausência de CaO pode ter facilitado a difusão dos vapores primários de pirólise (alcatrão) no interior das partículas, e conseqüentemente reduzido o seu tempo de residência. A redução do tempo de residência dos vapores primários de pirólise (alcatrão) no interior das partículas pode ter favorecido as reações secundárias em fase gás para a formação de *char* secundário.

Figura 4.15. Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para o rendimento de *char* (%), considerando a interação entre as variáveis temperatura e razão CaO/RTS.

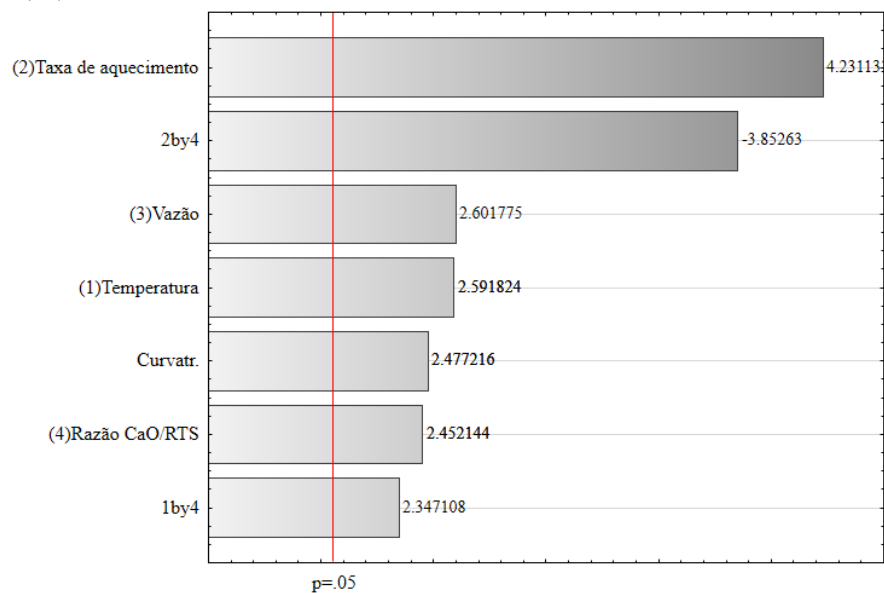


Fonte: Elaboração da presente autora.

#### 4.6.3 Rendimento de voláteis condensáveis

A análise estatística dos resultados obtidos a partir do planejamento experimental com relação ao rendimento de voláteis condensáveis (%) está apresentada no diagrama de Pareto (Figura 4.16). O rendimento de voláteis condensáveis foi obtido considerando o somatório das massas dos vapores condensáveis no primeiro borbulhador (VCA) e nos demais borbulhadores (VCB). O diagrama indica que, com um nível de confiança de 95%, as variáveis taxa de aquecimento, vazão de gás inerte ( $N_2$ ), temperatura e razão CaO/RTS exercem efeito significativo (Valor-p < 0,05) sobre o rendimento de voláteis condensáveis. As interações entre a taxa de aquecimento e a razão CaO/RTS, bem como a temperatura e a razão CaO/RTS, também exercem efeito significativo sobre o rendimento dos voláteis condensáveis.

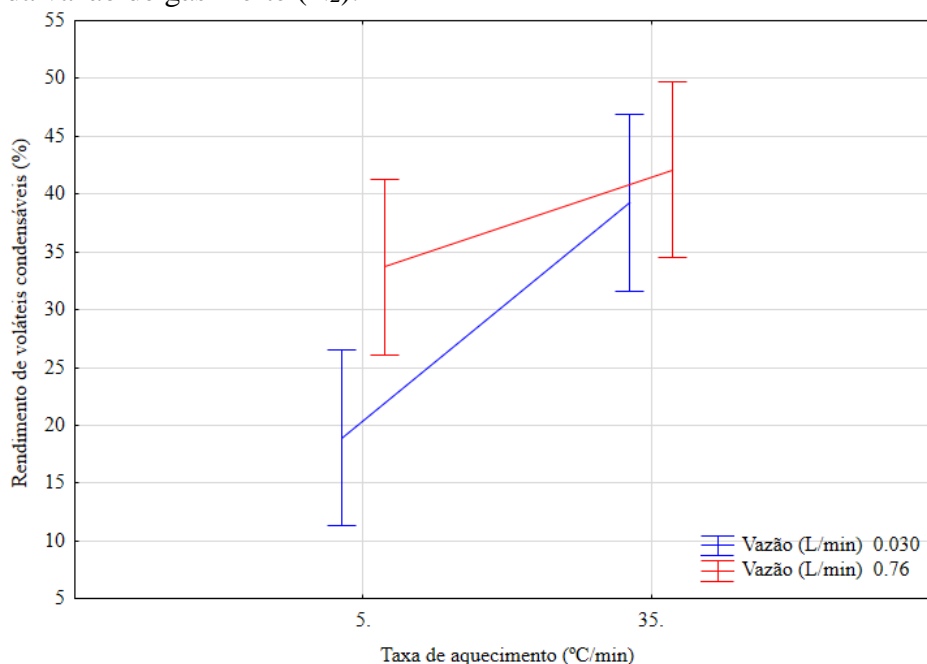
Figura 4.16. Diagrama de Pareto para a variável de resposta rendimento de voláteis condensáveis (%).



Fonte: Elaboração da presente autora.

Através da Figura 4.17 é possível verificar como as variáveis taxa de aquecimento e vazão de inerte ( $N_2$ ) influenciaram no rendimento dos voláteis condensáveis. A utilização de uma taxa de aquecimento mais elevada (35 °C/min) resultou em maiores rendimentos de voláteis condensáveis, enquanto menores rendimentos de voláteis condensáveis foram obtidos quando a vazão de gás inerte ( $N_2$ ) foi menor (0,03 L/min).

Figura 4.17. Variação do rendimento de voláteis condensáveis em função da taxa de aquecimento e da vazão de gás inerte ( $N_2$ ).



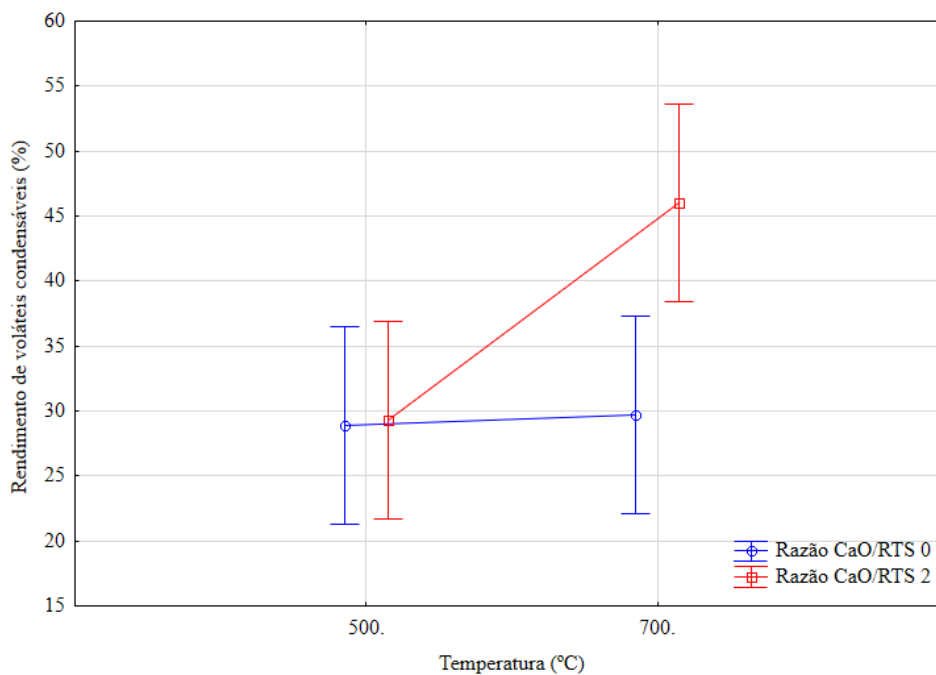
Fonte: Elaboração da presente autora.

Longos tempos de residência dos vapores de pirólise permitem que as espécies voláteis formadas durante a pirólise primária sofram reações de decomposição secundária em fase gás, tanto para formar gases não-condensáveis ( $CO/CO_2/CH_4$ ) através de reações de craqueamento, quanto para formar anéis aromáticos condensados (*char*) através de reações de repolimerização. COZZANI *et al.* (1997) e WESTERHOUT *et al.* (1997) conduziram experimentos de pirólise de PE e PP com longos tempos de residência dos voláteis. Os autores reportaram uma redução no rendimento de alcatrão (tar) e consequente aumento do rendimento de gases não-condensáveis e *char*. Desta forma, o aumento do rendimento de voláteis condensáveis observado com o aumento da vazão de inerte (de 0,03 para 0,76 L/min), pode estar associado ao baixo tempo de residência dos vapores de pirólise em fase gás, minimizando as reações secundárias de craqueamento. Além disto, o aumento da taxa de aquecimento (de 5 para 35 °C/min) reduziu o tempo de residência das partículas no reator, e consequentemente reduz as reações secundárias de formação de gases não-condensáveis e *char*, resultando em um maior rendimento de voláteis condensáveis.

A Figura 4.18 indica como o rendimento de voláteis condensáveis variou em função da temperatura e da razão CaO/RTS. Os menores rendimentos de voláteis condensáveis foram obtidos na ausência de CaO no processo (Razão CaO/RTS 0) associado a baixa temperatura de

operação (500 °C). Também é possível observar através da Figura 4.18 que, houve um aumento do rendimento de voláteis condensáveis com a presença de CaO para a temperatura de 700 °C.

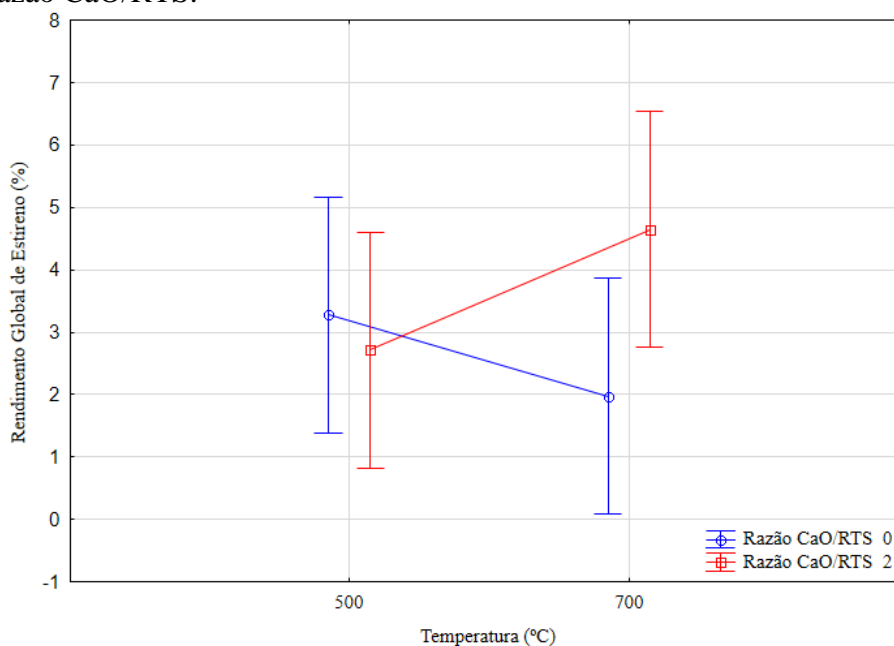
Figura 4.18. Variação do rendimento de voláteis condensáveis em função da temperatura e da razão CaO/RTS.



Fonte: Elaboração da presente autora.

O incremento no rendimento de voláteis condensáveis na presença de CaO para a temperatura de 700 °C pode estar associado com o maior rendimento global de estireno (Equação 3.7) nas referidas condições operacionais (700 °C e razão CaO/RTS 2), conforme observado na Figura 4.19.

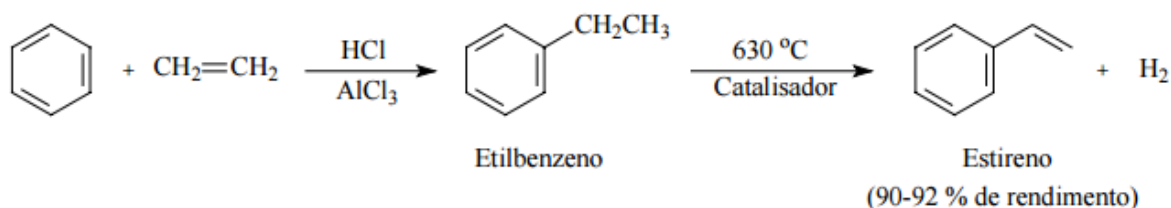
Figura 4.19. Variação do rendimento global de Estireno (%) em função das variáveis temperatura e razão CaO/RTS.



Fonte: Elaboração da presente autora.

O estireno pode ser obtido pela alquilação de Friedel-Crafts do benzeno com a formação de etilbenzeno, que é então desidrogenado na presença de um catalisador ( $\text{AlCl}_3$ ) para produzir estireno, conforme o esquema apresentado na Figura 4.20.

Figura 4.20. Esquema de obtenção do estireno pela alquilação de Friedel-Crafts.



Fonte: LANDO (2004).

A alquilação de Friedel-Crafts é utilizada quando o catalisador nas reações de alquilação de compostos aromáticos for um ácido de Lewis (LANDO, 2004). Como exemplos destes catalisadores, ALMEIDA e MARQUES (2016) citaram o  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{TiCl}_4$  e o  $\text{TiCl}_3$ , todos como sendo ácidos fortes de Lewis.

O benzeno é um produto da degradação térmica (pirólise) do poliestireno (PS), do politereftalato de etileno (PET) ou ainda do poliéster presentes no RTS, enquanto o etileno é produto da degradação térmica (pirólise) do polietileno (PE). Ainda conforme a Figura 4.20, a

segunda etapa da reação ocorre a temperatura superior a 600 °C, em concordância com o aumento do rendimento global de estireno a 700 °C. A presença do etilbenzeno (Apêndice 9) em concentrações significativas para grande parte dos ensaios de pirólise do RTS é também um indicativo da formação de estireno pela alquilação de Friedel-Crafts.

O HCl pode estar disponível no meio reacional devido a degradação térmica do PVC presente no RTS, conforme reação (4.2):



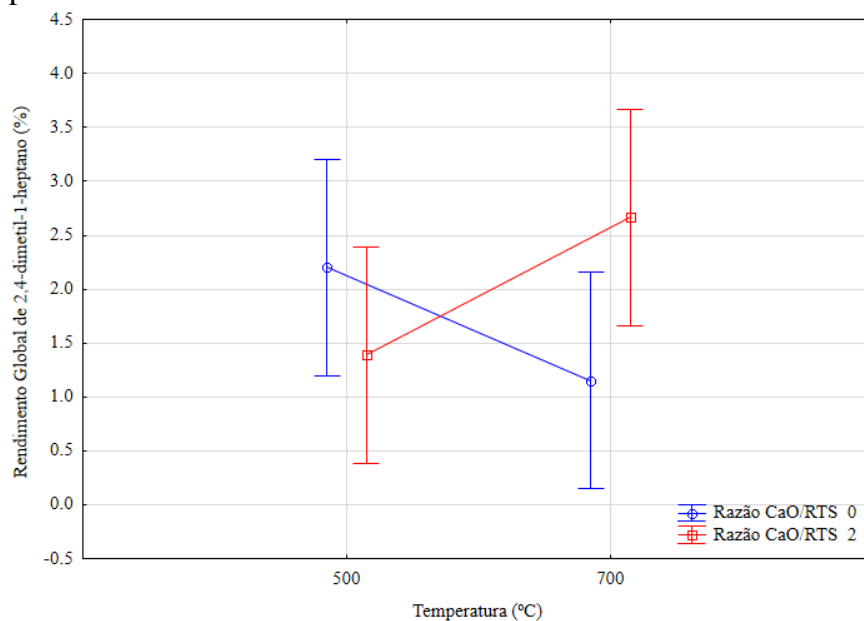
Para os ensaios conduzidos na presença de CaO, o HCl pode reagir de acordo com a Equação 2.1 para formar cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>). Segundo CHAN e KIRK (1999), o cloreto de cálcio pode reagir com os óxidos metálicos (MO) presentes no RTS de acordo com a Equação (4.3) para formar cloretos metálicos:



Desta forma, o cloreto de alumínio pode ter sido formado segundo a reação (4.3). O cloreto de alumínio (AlCl<sub>3</sub>) também tem sido utilizado como catalisador em processos de pirólise de polipropileno (KAMINSKY e ZORRIQUETA 2007). O efeito catalítico do AlCl<sub>3</sub> foi verificado mesmo em pequenas concentrações (0,1%). De acordo com os autores, o rendimento de óleos leves aumentou com o incremento da temperatura independente da concentração de catalisador (AlCl<sub>3</sub>) utilizada no processo de pirólise do PP. Os autores reportaram que o 2,4-dimetil-1-heptano é a espécie mais abundante no óleo leve obtido a partir dos experimentos de pirólise do PP na presença de AlCl<sub>3</sub>. Segundo a Figura 4.21, o rendimento global de 2,4-dimetil-1-heptano (obtido pela Equação 3.7) apresenta comportamento semelhante ao observado para o rendimento de voláteis condensáveis deste trabalho, indicando que o AlCl<sub>3</sub> deve estar atuando como catalisador da pirólise do PP presente no RTS. Conforme a análise de EDS (Anexo 2) é possível identificar a presença de alumínio e cloro no *char*, também sugerindo a presença de AlCl<sub>3</sub> no meio reacional.



Figura 4.21. Variação do rendimento global de 2,4-dimetil-1-heptano (%) em função das variáveis temperatura e razão CaO/RTS.



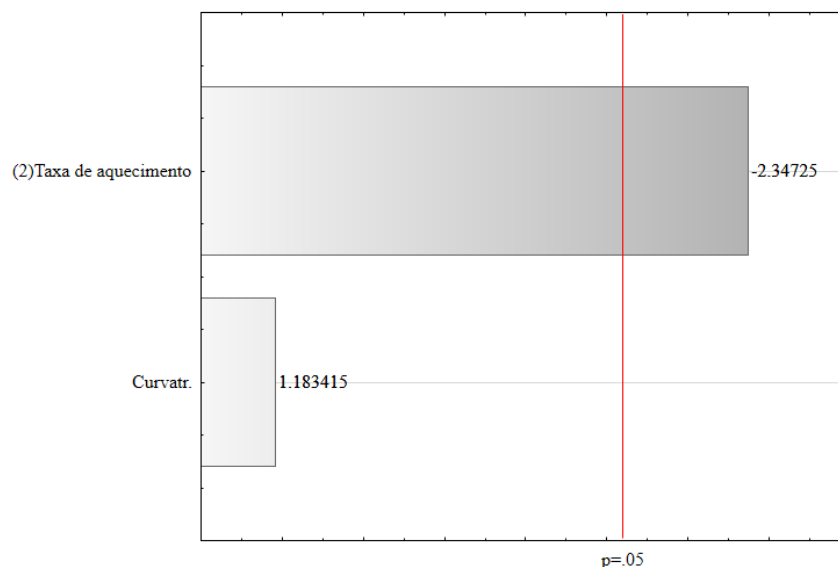
Fonte: Elaboração da presente autora.

#### 4.7 Composição do gás não-condensável gerado no processo de pirólise do RTS

O Apêndice 5 apresenta a composição do gás não-condensável gerado no processo de pirólise do RTS, considerando todas as variáveis envolvidas, bem como todos os pontos de coleta. Para fins de avaliação das condições experimentais, foram considerados os valores médios de todos os pontos de coleta (em base livre de N<sub>2</sub>).

A análise estatística da concentração de hidrogênio (% mol/mol) está apresentada no diagrama de Pareto (Figura 4.22). Segundo o diagrama de Pareto, a taxa de aquecimento exerce efeito significativo (Valor-p < 0,05) sobre a concentração de hidrogênio no gás não-condensável.

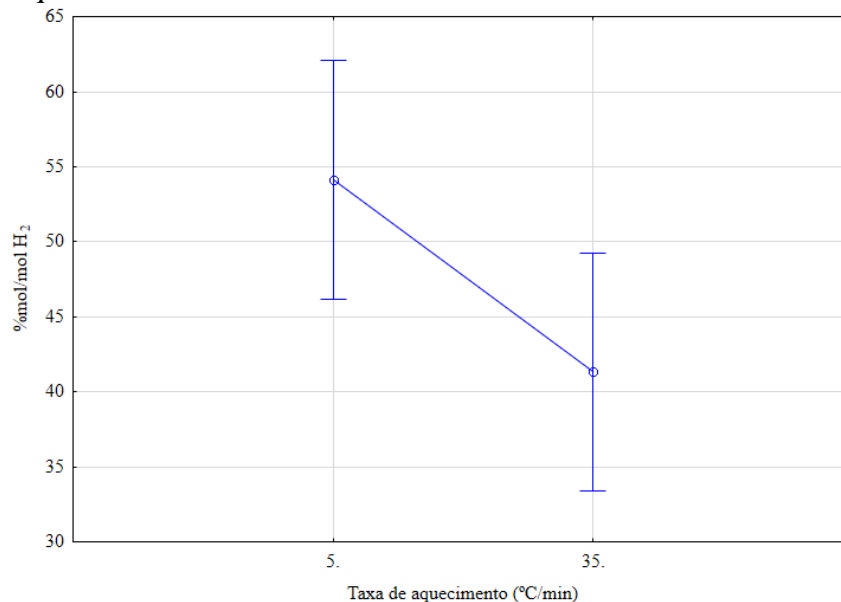
Figura 4.22. Diagrama de Pareto para a concentração de hidrogênio (% mol/mol) em base livre de N<sub>2</sub> no gás não-condensável.



Fonte: Elaboração da presente autora.

Através da Figura 4.23 é possível verificar como a taxa de aquecimento influenciou na concentração (mol/mol) de hidrogênio (H<sub>2</sub>) em base livre de N<sub>2</sub>. O aumento da taxa de aquecimento resultou na redução da concentração de hidrogênio. A utilização de uma menor taxa de aquecimento resulta em um maior tempo de residência dos sólidos no reator. O efeito do tempo de residência na distribuição dos produtos de pirólise do polietileno (PE) foi estudado por MASTRAL *et al.* (2006). Os resultados indicaram que maiores tempos de residência levaram a uma quebra mais intensiva das frações alifáticas do polímero, enquanto menores tempos de residência favorecem a formação de produtos primários (monômero do polímero). Desta forma, a redução da concentração de hidrogênio com o aumento da taxa de aquecimento deve estar associada ao menor tempo de residência dos sólidos, e a consequente minimização das reações de craqueamento dos polímeros presentes no RTS.

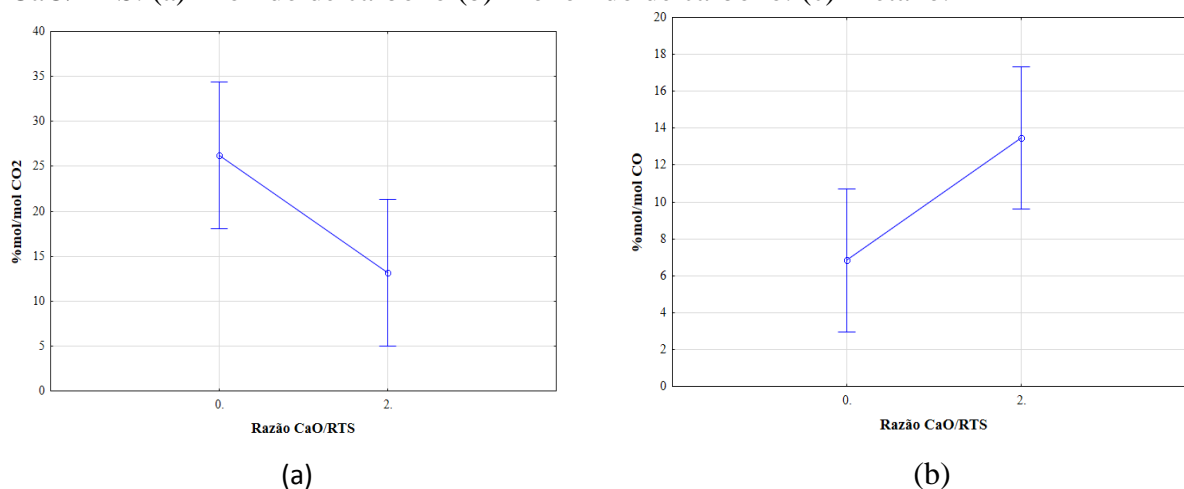
Figura 4.23. Variação da concentração (mol/mol) de gás hidrogênio em base livre de N<sub>2</sub> em função da taxa de aquecimento.

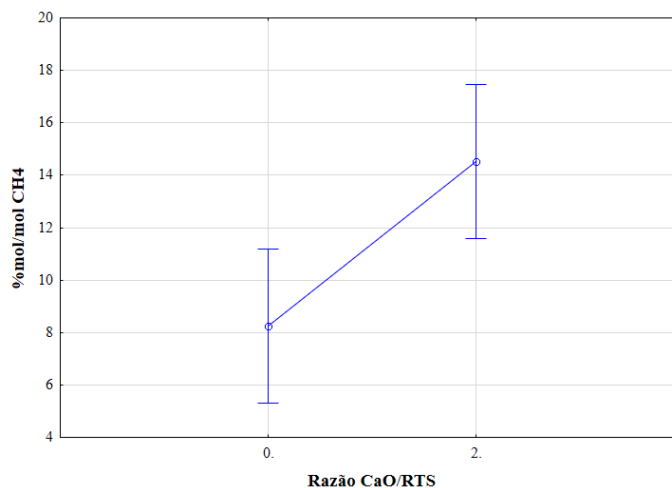


Fonte: Elaboração da presente autora.

Segundo a análise estatística (diagrama de Pareto), a razão CaO/RTS é a única variável que exerce efeito significativo (Valor-p < 0,05) sobre a concentração do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), do monóxido de carbono (CO) e do metano (CH<sub>4</sub>) no gás não-condensável. Com o aumento da razão CaO/RTS, houve uma redução da concentração de CO<sub>2</sub> e um aumento da concentração de CO e CH<sub>4</sub>, conforme pode ser visualizado através das Figuras 4.24 (a), (b) e (c).

Figura 4.24. (a) Variação da concentração (mol/mol) em base livre de N<sub>2</sub> em função da razão CaO/RTS. (a) Dióxido de carbono (b) Monóxido de carbono. (c) Metano.



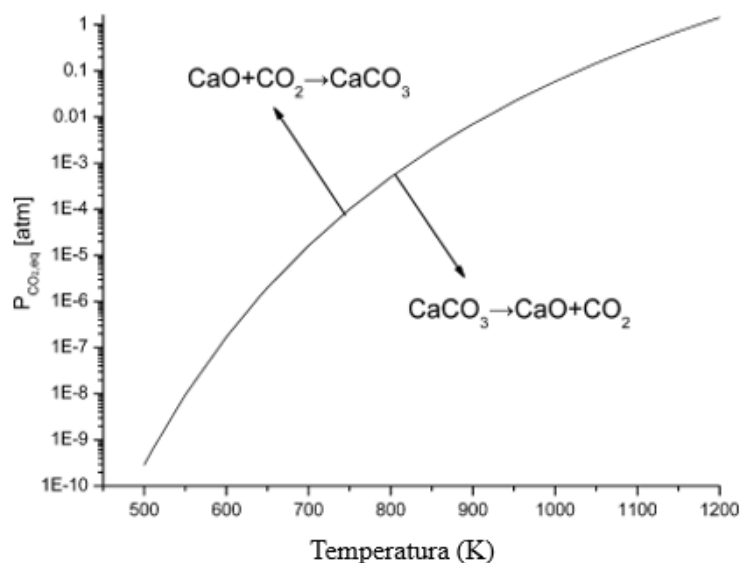


(c)

Fonte: Elaboração da presente autora.

A redução da concentração de  $\text{CO}_2$  na presença de  $\text{CaO}$  está associada a formação de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) segundo a reação apresentada na Equação (2.2). A Figura 4.25 relaciona a temperatura de transição entre as reações de formação e degradação do carbonato de cálcio em função da pressão parcial de  $\text{CO}_2$  ( $P_{\text{CO}_2}$ ). Conforme se observa na Figura 4.25, para temperaturas abaixo de 973 K (700 °C) a reação (2.2) é favorecida a pressões parciais de  $\text{CO}_2$  superiores a aproximadamente 0,01 atm (1% mol/mol). Tendo em vista a maior concentração de  $\text{CO}_2$  observada nos experimentos de pirólise (Figura 4.24 (a)), é esperada a ocorrência da reação (2.2) ao longo dos ensaios, e a consequente redução da concentração de  $\text{CO}_2$  no gás não-condensável na presença de  $\text{CaO}$ . Com o objetivo de avaliar a presença de  $\text{CaCO}_3$  no *char* produzido a partir dos ensaios de pirólise do RTS, foi conduzida a análise de difração de raios X para a amostra de *char* do ensaio de pirólise 3. O difratograma está disponível no Anexo 3. Conforme a referida análise, foi possível identificar a presença de  $\text{CaCO}_3$  na amostra em questão. Desta forma, é possível confirmar a ocorrência da reação (2.2), com a consequente redução da concentração de  $\text{CO}_2$  no gás não-condensável. Além disto, o aumento da concentração de  $\text{CO}$  e  $\text{CH}_4$  também está associado a remoção do  $\text{CO}_2$  do gás não-condensável segundo a reação (2.2).

Figura 4.25. Pressão parcial de CO<sub>2</sub> em função da temperatura.

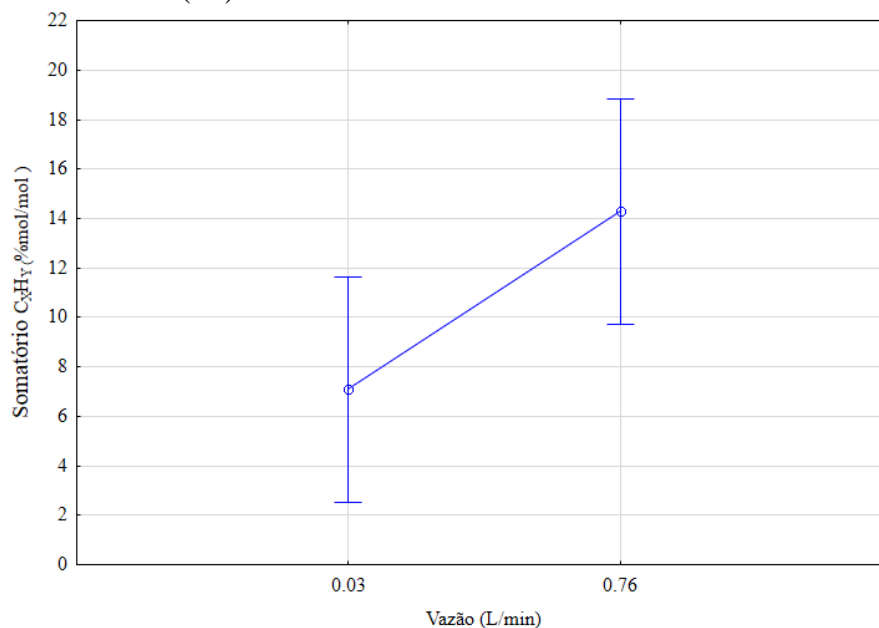


Fonte: Adaptado de HAN *et al.* (2010).

Segundo a análise estatística (diagrama de Pareto) a vazão de inerte (N<sub>2</sub>) é a única variável que exerce efeito significativo (Valor-p < 0,05) sobre o somatório das concentrações de hidrocarbonetos (etano, propano, propeno, acetileno, propadieno, n-Butano, isobutano e isobuteno) presentes no gás não-condensável gerado no processo de pirólise do RTS.

A partir da Figura 4.26 é possível verificar que com o aumento da vazão de gás inerte (N<sub>2</sub>) houve um incremento da concentração de hidrocarbonetos (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) no gás não-condensável. O aumento da vazão de gás inerte reduz significativamente o tempo de residência do gás não-condensável no reator, minimizando as reações secundárias de craqueamento em fase gás. Desta forma, os experimentos conduzidos com uma baixa vazão de gás inerte levaram a obtenção de menores concentrações de C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, uma vez que o tempo de residência do gás no reator foi maior. DAY, SHEN e COONEY (1999) sugeriram que o craqueamento dos produtos da pirólise primária ocorre em tempos de residência relativamente longos.

Figura 4.26. Variação da concentração (mol/mol) de hidrocarbonetos (em base livre de N<sub>2</sub>) em função da vazão de inerte (N<sub>2</sub>).



Fonte: Elaboração da presente autora.

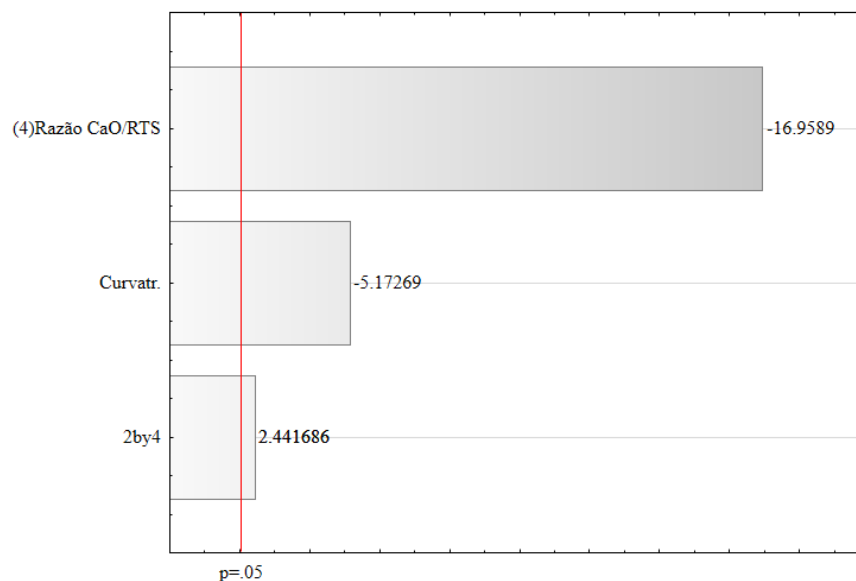
#### 4.8 Análise imediata do char obtido no processo de pirólise do RTS

O Apêndice 6 deste trabalho apresenta os resultados das diferentes condições operacionais avaliadas (temperatura/vazão de gás inerte/taxa de aquecimento/razão CaO/RTS) sobre a análise imediata (teor de voláteis/teor de cinzas/teor de carbono fixo) do *char* obtido no processo de pirólise do RTS. Para a apresentação dos resultados no referido Apêndice não foi desconsiderada a massa inicial de CaO adicionada ao RTS no início dos experimentos da massa final de sólido (CaO ou CaCO<sub>3</sub> + *char*) obtida ao final do experimento.

#### 4.9 Poder calorífico do char obtido no processo de pirólise do RTS

A análise estatística (planejamento experimental) do poder calorífico do *char* é apresentada no diagrama de Pareto (Figura 4.27). Segundo o diagrama, com um nível de confiança de 95%, a variável Razão CaO/RTS exerce efeito significativo (Valor-p < 0.05) sobre o poder calorífico (MJ/kg) do *char*. A interação entre a taxa de aquecimento e a Razão CaO/RTS também exerce efeito significativo sobre o poder calorífico do *char*.

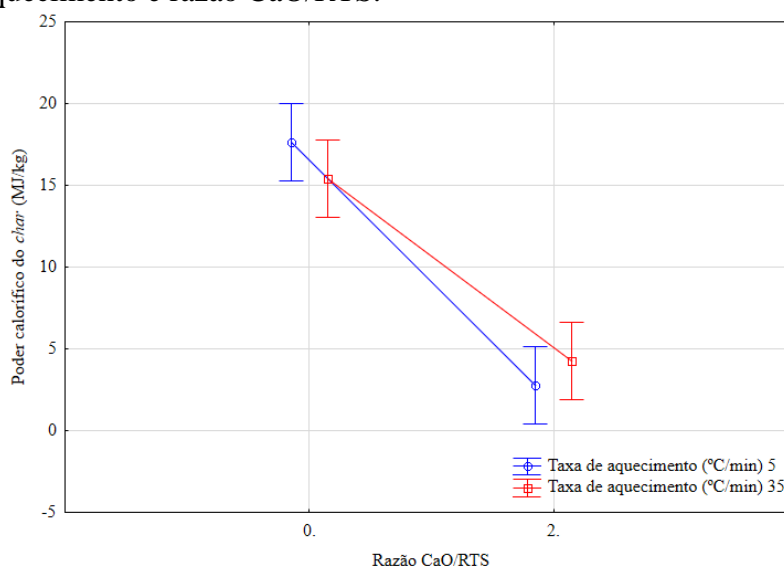
Figura 4.27. Diagrama de Pareto para a variável de resposta poder calorífico (MJ/kg) do *char* produzido nos ensaios de pirólise do RTS.



Fonte: Elaboração da presente autora.

Através da Figura 4.28 é possível verificar como a interação entre as variáveis taxa de aquecimento e razão CaO/RTS influenciou no poder calorífico (MJ/kg) do *char*. Tal como esperado, há uma redução significativa do poder calorífico do *char* nos ensaios conduzidos na presença de CaO. A taxa de aquecimento apresentou pouca influência sobre o poder calorífico do *char*.

Figura 4.28. Variação do Poder calorífico do *char* (MJ/kg) em função da interação entre as variáveis taxa de aquecimento e razão CaO/RTS.

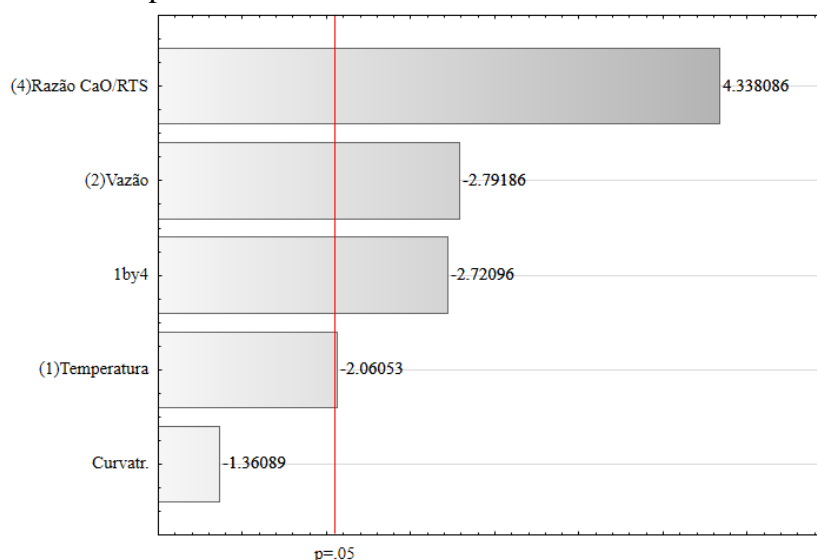


Fonte: Elaboração da presente autora.

#### 4.10 Retenção de cloro no char

A retenção de cloro no *char* foi determinada a partir da Equação 3.4 (item 3.3.7). Segundo a análise estatística (diagrama de Pareto – Figura 4.29) as variáveis razão CaO/RTS, vazão de inerte (N<sub>2</sub>) e temperatura exercem efeito significativo (Valor-p < 0.05) sobre a retenção de cloro no *char*. A interação entre a temperatura e a razão CaO/RTS também exerce efeito significativo sobre a retenção de cloro no *char*. No Apêndice 7 são apresentados os resultados de retenção de cloro no *char* para todos os experimentos de pirólise do RTS.

Figura 4.29. Diagrama de Pareto para a variável de resposta retenção de cloro no *char* (% massa) obtida nos ensaios de pirólise do RTS.



Fonte: Elaboração da presente autora.

Na identificação e quantificação dos materiais presentes no RTS foi possível identificar a presença de PVC. Dado polímero apresenta elevada quantidade de cloro em sua composição (56,8 % em massa de acordo com RODOLFO e MEI (2007), e possivelmente seja responsável por grande parte do cloro presente no RTS. CASTRO *et al.* (2013) conduziram um estudo cinético da descloração térmica de resíduos contendo PVC. Segundo os autores, a degradação deste polímero ocorre entre 200 e 400 °C. A molécula de PVC decompõe-se em HCl e um resíduo rico em carbono, de acordo com a Equação 4.2.

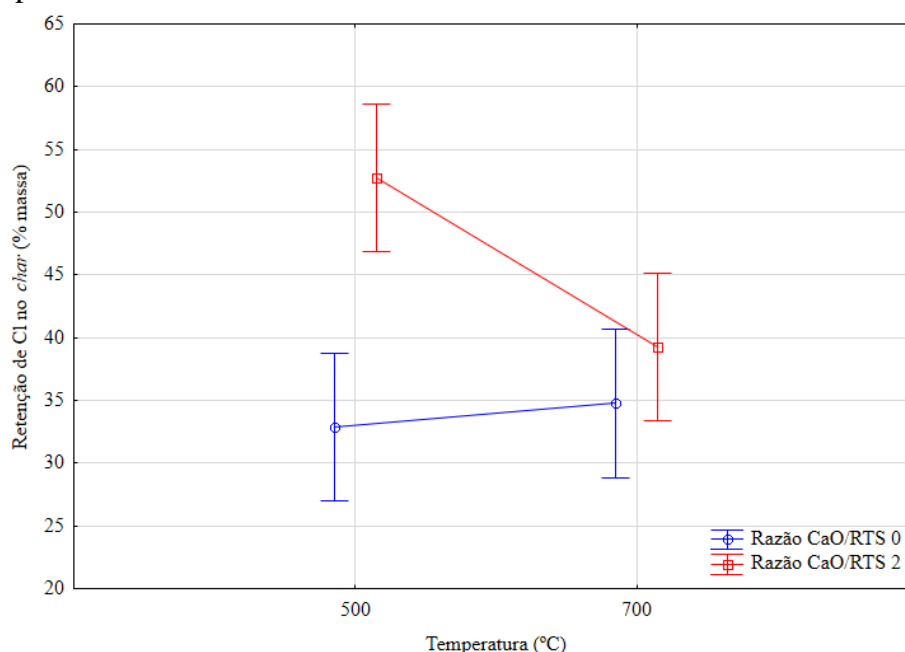
Ainda de acordo com CASTRO *et al.* (2013), as ligações C-Cl na estrutura do PVC têm uma energia de ligação relativamente menor do que as ligações C-C e C-H. Isso justificaria o fato de que as ligações de cloro são as primeiras a serem rompidas.

Através da Figura 4.30, é possível verificar como as variáveis razão CaO/RTS e temperatura influenciaram na retenção de cloro no *char* produzido a partir da pirólise do RTS.



A retenção de cloro no *char* foi mais elevada nos ensaios conduzidos na presença de CaO. É possível observar uma redução da retenção de cloro no *char* com o aumento da temperatura para os ensaios conduzidos na presença de CaO. Por outro lado, para os ensaios conduzidos na ausência de CaO, a retenção de cloro ficou relativamente constante com o aumento da temperatura.

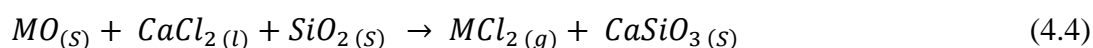
Figura 4.30. Variação da retenção de cloro no *char* (% massa) em função das variáveis razão CaO/RTS e temperatura.



Fonte: Elaboração da presente autora.

A retenção de cloro nos experimentos conduzidos na ausência de CaO pode estar associada a adsorção de HCl (formado a partir da degradação do PVC) no *char*. QUYN, WU e LI (2002), conduziram um estudo com o objetivo de avaliar a volatilização e os efeitos catalíticos do Na e do Cl durante a pirólise e a gaseificação de um determinado carvão. Segundo os autores, acredita-se que o Cl, em algumas formas químicas (por exemplo HCl), pode se recombinar com os radicais livres do carvão (por adsorção ou reação química). ZHAO, SONG e YAO (2016), observaram que há adsorção de HCl na matriz carbonosa do *char* mesmo a altas temperaturas ( $T < 900$  °C).

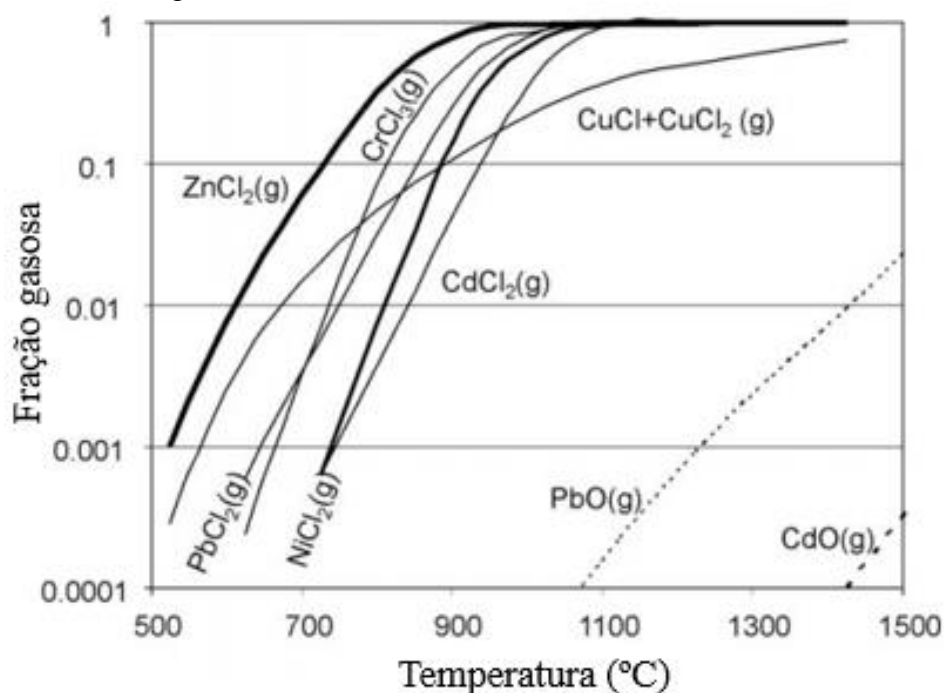
Ainda segundo CHAN e KIRK (1999), a reação 4.3 ocorreria a 1000 °C. Entretanto, esta reação seria favorecida na presença de dióxido de silício, segundo a Equação (4.4).



A Figura 4.31 relaciona a volatilidade (fase gás) de seis cloretos metálicos envolvendo os metais Cd, Zn, Pb, Cu, Ni, e Cr, e seus óxidos em atmosfera de  $N_2$  em função da temperatura (calculada através da utilização de um programa de modelagem termodinâmica). Para a temperatura de 700 °C, a volatilidade dos cloretos metálicos aumenta na seguinte ordem:  $Zn > Cu > Pb > Cr > Ni$ . De acordo com ADAM *et al.* (2009), a conversão dos óxidos em cloretos permite a volatilização dos metais mesmo a temperaturas moderadas. É importante destacar que a pressão de vapor de alguns óxidos é inferior em várias ordens de grandeza. Portanto, o CdO e PbO são os únicos óxidos visíveis no gráfico.

Desta forma, a redução da retenção de cloro no *char* com o incremento da temperatura observada para os experimentos conduzidos na presença de CaO pode estar associada a reação (4.4), sendo que o cloro estaria sendo volatilizado na forma de um cloreto metálico em fase gás. Segundo a análise de EDS (Anexo 2) o silício está presente no *char*, bem como na análise de difração de raios X (Anexo 3) foi possível identificar a presença do silicato de cálcio ( $CaSi_2$ ), indicando a ocorrência da reação (4.4).

Figura 4.31. Volatilidade de alguns cloretos metálicos.

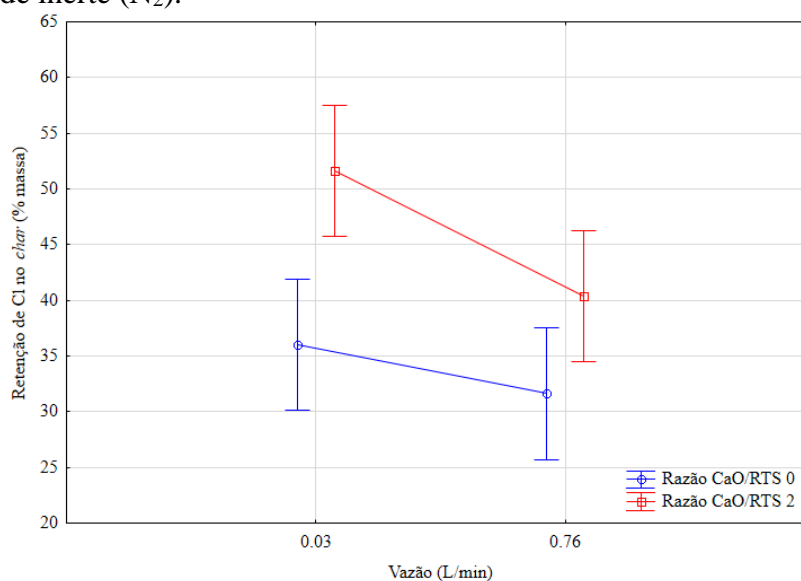


Fonte: Adaptado de ADAM *et al.* 2009.

Através da Figura 4.32 é possível verificar como a razão CaO/RTS e a vazão de inerte ( $N_2$ ) influenciaram na retenção de cloro no *char*. Tanto na presença, quanto na ausência de CaO houve uma redução da retenção de cloro com o aumento da vazão de inerte ( $N_2$ ). Dada redução

pode estar associada a um incremento da transferência de massa gás-sólido na superfície do leito (aumento da turbulência causado pelo aumento da velocidade do escoamento dos gases sob a superfície do leito), e conseqüentemente um menor tempo de residência do HCl no interior do leito. Assim, há uma menor formação de  $\text{CaCl}_2$  e o cloro pode estar sendo lançado na forma de HCl.

Figura 4.32. Variação da retenção de cloro no *char* (% massa) em função das variáveis razão CaO/RTS e vazão de inerte ( $\text{N}_2$ ).

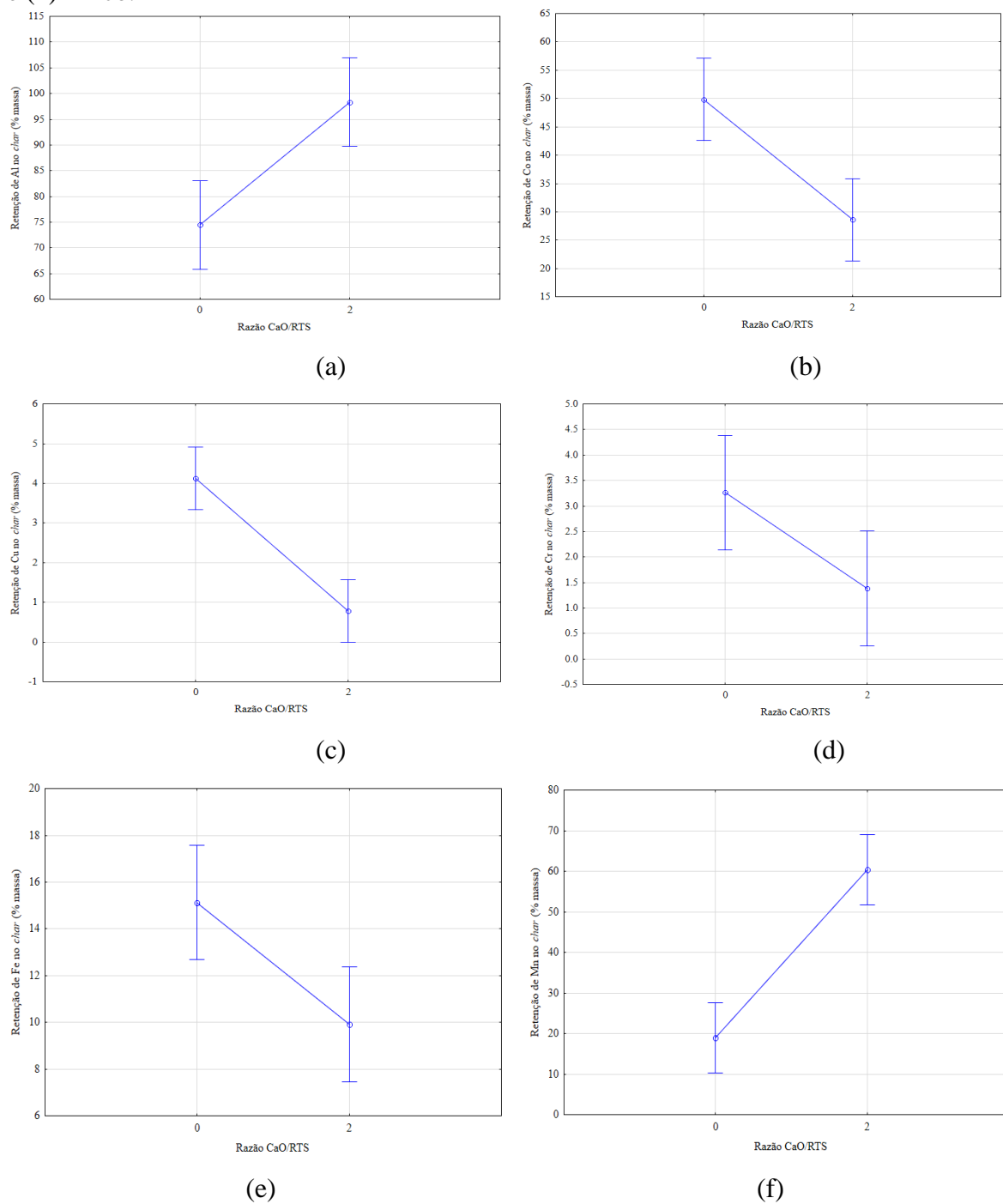


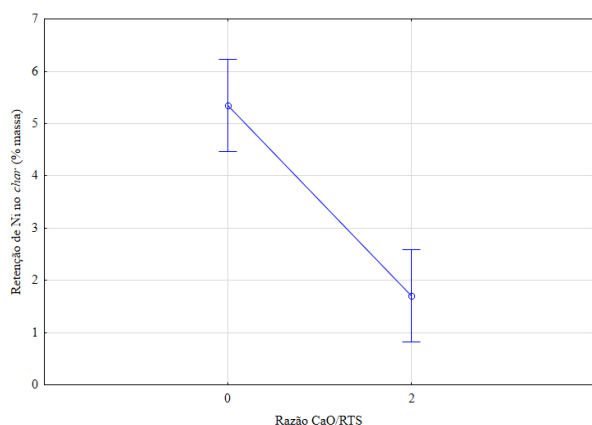
Fonte: Elaboração da presente autora.

#### 4.11 Retenção de metais no *char*

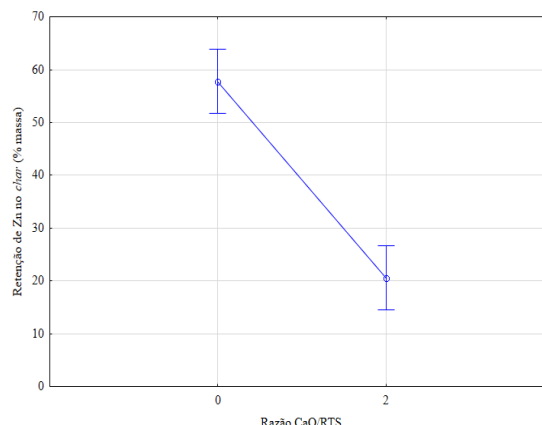
A retenção de metais no *char* foi avaliada para os seguintes metais presentes no RTS: Alumínio (Al), Chumbo (Pb), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni) e Zinco (Zn). A análise estatística dos resultados obtidos a partir do planejamento experimental para todos os metais (exceto para o chumbo) indica que, com um nível de confiança de 95%, apenas a razão CaO/RTS exerce efeito significativo (Valor-p < 0.05) sobre a retenção dos metais no *char*. No Apêndice 8 são apresentados os resultados para todos os experimentos. Nas Figuras 4.33 (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) e (h) são apresentadas as variações da retenção de metais no *char* (% massa) em função da razão CaO/RTS.

Figura 4.33. Variação da retenção de metais no *char* (% massa) em função da variável razão CaO/RTS. (a) Alumínio. (b) Cobalto. (c) Cobre. (d) Cromo. (e) Ferro. (f) Manganês. (g) Níquel e (h) Zinco.





(g)



(h)

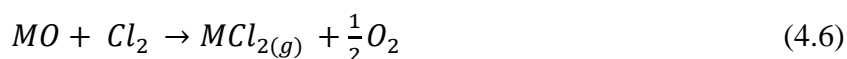
Fonte: Elaboração da presente autora.

A partir da Figura 4.33 é possível verificar que houve uma diminuição da retenção de metais no *char* nos experimentos conduzidos com CaO para os seguintes metais: Co, Cu, Cr, Fe, Ni e Zn, enquanto houve um aumento da retenção de Al e de Mn no *char*. Diferentes trabalhos (CHAN *et al.*, 1996; CHAN e KIRK, 1999; ADAM *et al.*, 2009; NOWAK *et al.*, 2011; NOWAK *et al.*, 2012) têm utilizado agentes clorantes (dentre eles o  $\text{CaCl}_2$ ) para remover os metais das cinzas provenientes de processos de incineração. O objetivo dos autores está na remoção dos metais das cinzas, de forma que estas cinzas sejam dispostas em aterros para resíduos não perigosos (mais baratos).

CHAN e KIRK (1999), conduziram experimentos para avaliar o efeito de diferentes agentes clorantes sobre a volatilização de diferentes metais presentes nas cinzas volantes (*fly ash*) de um incinerador de resíduos sólidos urbanos. Nos experimentos conduzidos na presença de  $\text{CaCl}_2$  a 1000 °C o chumbo (Pb), o cobre (Cu) e o zinco (Zn) foram os metais que apresentaram maior volatilização das cinzas (acima de 90%). Os autores observaram que nas referidas condições não houve volatilização de alumínio (Al), bem como ocorreu uma baixa volatilização do manganês (Mn) (abaixo de 40%).

NOWAK *et al.* (2011) conduziram um estudo com o objetivo de recuperar fósforo (P) a partir do lodo de esgoto. Os autores estudaram a remoção dos metais pesados das cinzas deste lodo em diferentes tipos de reatores (leito fluidizado/reator rotativo) na presença de  $\text{CaCl}_2$ . Os autores sugerem três etapas reacionais quando da inserção de um agente clorante. O mecanismo proposto por NOWAK *et al.* 2011 é semelhante ao sugerido por CHAN e KIRK (1999) (equações 4.3 e 4.4). A principal diferença deste modelo em relação ao proposto por CHAN e KIRK (1999) é que os autores sugerem a possibilidade do HCl reagir diretamente com o óxido metálico para a formação do cloreto metálico.

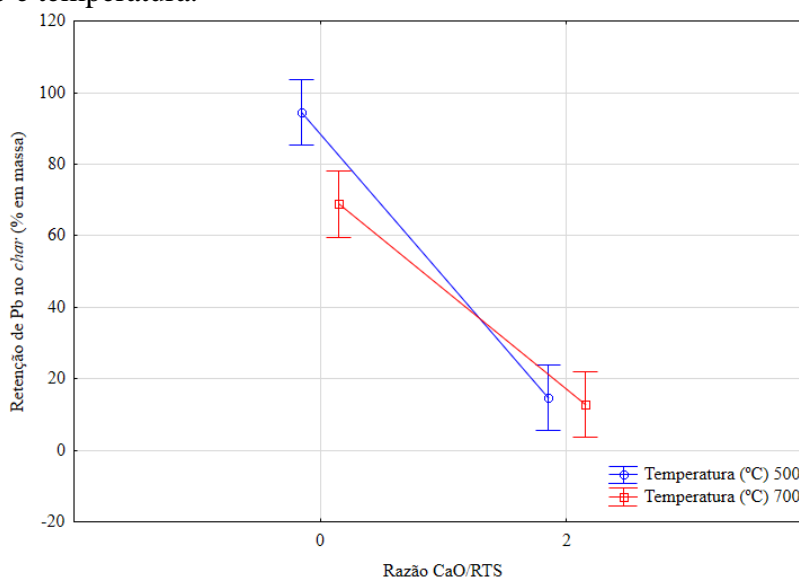
CHAN e KIRK (1999), sugeriram que na presença de  $\text{CaCl}_2$  a formação do cloreto metálico volátil ( $\text{MCl}_2$ ) segundo a reação (4.4) ocorre por uma cloração indireta, segundo as reações (4.5) e (4.6).



Os autores reportaram ainda a variação da energia de Gibbs padrão ( $\Delta G^0$ ) para as reações de diferentes óxidos metálicos segundo a reação (4.6). O alumínio (Al) e o manganês (Mn) apresentam  $\Delta G^0 > 0$  (78 kJ/mol  $\text{Cl}_2$  e 13,2 kJ/mol  $\text{Cl}_2$ , respectivamente), indicando que para estes óxidos metálicos a reação (4.6) não é favorável. Por outro lado, o chumbo (Pb), o cobre (Cu), o zinco (Zn), o cobalto (Co) e o níquel (Ni) apresentam  $\Delta G^0 < 0$  (-106,2 kJ/mol  $\text{Cl}_2$ , -75 kJ/mol  $\text{Cl}_2$ , -55 kJ/mol  $\text{Cl}_2$ , -6,3 kJ/mol  $\text{Cl}_2$ , -4,0 kJ/mol  $\text{Cl}_2$ , respectivamente), indicando que a reação (4.6) é favorável. A partir disto, a redução da retenção de Cu, Zn, Co e Ni no *char* deve estar associada a ocorrência da reação (4.6).

Segundo a análise estatística (diagrama de Pareto) dos resultados obtidos a partir do planejamento experimental, as variáveis Razão CaO/RTS e temperatura exercem efeito significativo (Valor-p < 0.05) sobre a retenção de Chumbo no *char*. Através da Figura 4.34 é possível verificar como as variáveis razão CaO/RTS e temperatura influenciaram na retenção de chumbo no *char*.

Figura 4.34. Variação da retenção de Chumbo no *char* (% massa) em função das variáveis razão CaO/RTS e temperatura.



Fonte: Elaboração da presente autora.

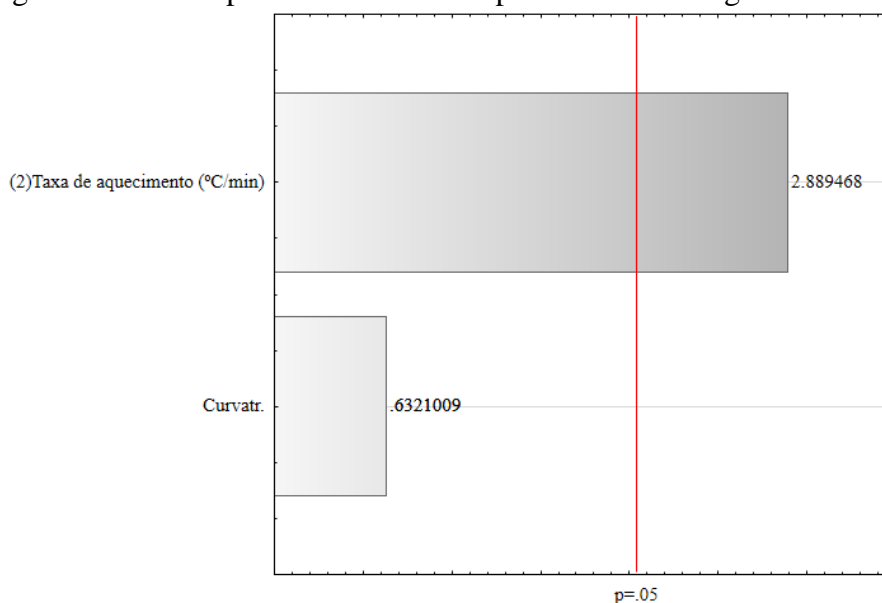
Para ambas as temperaturas houve uma redução significativa da retenção de Pb no *char* na presença de CaO. Dada tendência indica que a volatilização do Pb foi influenciada mais significativamente pela presença do CaO. Conforme a Figura 4.31, o cloreto de chumbo ( $\text{PbCl}_2$ ) apresenta volatilidade apreciável a 700 °C, bem como a reação do óxido de chumbo com o gás cloro ( $\text{Cl}_2$ ) segundo a reação (4.6), para a formação do cloreto de chumbo ( $\text{PbCl}_2$ ) é favorável ( $\Delta G^0 < 0$ ).

#### 4.12 Caracterização dos vapores condensáveis produzidos nos ensaios de pirólise do RTS

No Apêndice 9 estão apresentados os resultados das análises de cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CGMS) para as amostras dos vapores condensáveis A e B em todas as condições experimentais avaliadas. Os resultados estão expressos em ordem crescente de % da área do cromatograma. Para cada composto químico é apresentado o seu número CAS correspondente. Este número é um registro único no banco de dados do *Chemical Abstracts Service*, uma divisão da *Chemical American Society*. O *Chemical Abstracts Service* atribui esses números a cada produto químico que é descrito na literatura. Além do número CAS, estão expressos neste Apêndice a faixa de correspondência. Foram inseridos apenas os resultados que apresentaram uma faixa de correspondência maior ou igual a 90% de confiança.

O composto que apresentou os maiores rendimentos, tanto para VCA, quanto para VCB, foi o estireno. O mecanismo de formação do monômero estireno está descrito no item 2.4.1 deste trabalho. A análise estatística dos resultados obtidos a partir do planejamento experimental para o rendimento global de estireno (%) está apresentada no diagrama de Pareto da Figura 4.35. A equação utilizada para o cálculo do rendimento global foi descrita anteriormente (Equação 3.7). A análise estatística indica que, com um nível de confiança de 95%, a variável taxa de aquecimento exerce efeito significativo (Valor-p < 0.05) sobre o rendimento global de estireno (%).

Figura 4.35. Diagrama de Pareto para a variável de resposta rendimento global de estireno (%).



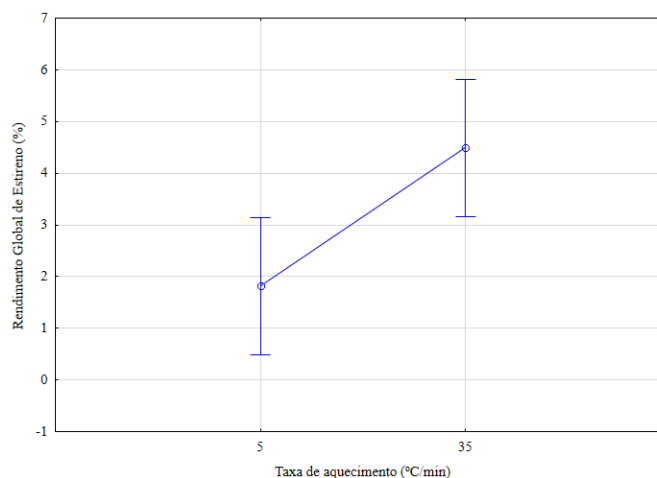
Fonte: Elaboração da presente autora.

Através da Figura 4.36 é possível verificar como a variável taxa de aquecimento influenciou no rendimento global de estireno. Os maiores rendimentos foram observados para a taxa de aquecimento de 35 °C/min. O aumento do rendimento global de estireno observado com o aumento da taxa de aquecimento (de 5 para 35 °C) deve estar associado ao baixo tempo de residência dos vapores de pirólise em fase gás, minimizando assim, as reações de craqueamento.

Para fins comparativos, o efeito das variáveis do processo de pirólise no rendimento de estireno foi reportado em um estudo por MO *et al.* (2014). As variáveis estudadas pelos autores foram a temperatura, a taxa de aquecimento e o tempo de reação. Para os autores, o aumento da taxa de aquecimento resultou no aumento da concentração de estireno. Além disto, o efeito da taxa de aquecimento foi mais significativo a baixas temperaturas. Para a temperatura de 375 °C, o rendimento de estireno aumentou 16% (de 39 para 55%) à medida em que a taxa de aquecimento aumentou de 10 para 40 °C/min, enquanto para a temperatura de 525 °C, o rendimento de estireno aumentou 5% (de 59 para 64%) quando a taxa de aquecimento aumentou de 10 para 40 °C/min.



Figura 4.36. Variação do rendimento global de estireno (%) em função da variável taxa de aquecimento.

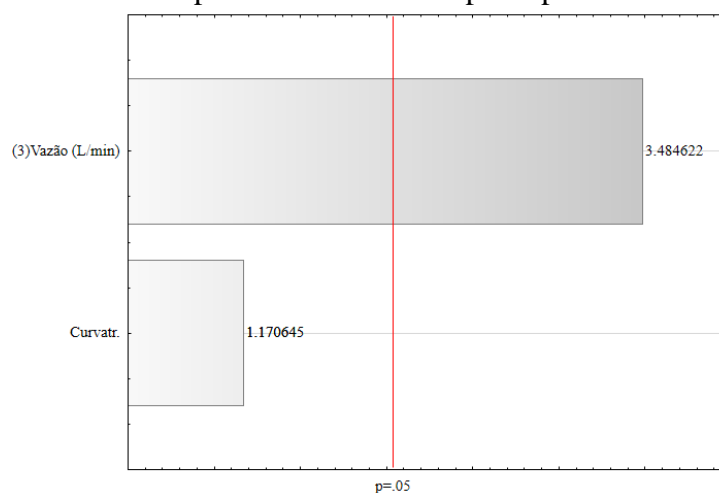


Fonte: Elaboração da presente autora.

#### 4.12.1 Poder calorífico dos vapores condensáveis produzidos nos ensaios de pirólise do RTS

O poder calorífico (MJ/kg) dos vapores condensáveis no primeiro borbulhador (VCA) foi obtido através da Equação 3.2, com base nos resultados da análise elementar (CHNS - Apêndice 10). A análise estatística dos resultados obtidos a partir do planejamento experimental indicou que nenhuma das quatro variáveis (temperatura, taxa de aquecimento, vazão de gás inerte e razão CaO/RTS) exerce efeito significativo sobre o poder calorífico (MJ/kg) de VCA. Contudo, para o poder calorífico dos vapores condensáveis nos demais borbulhadores (VCB), a análise estatística dos resultados obtidos a partir do planejamento experimental (diagrama de Pareto - Figura 4.37) indicou que, com um nível de confiança de 95%, a variável vazão de gás inerte ( $N_2$ ) exerce efeito significativo (Valor-p < 0,05) sobre o poder calorífico de VCB.

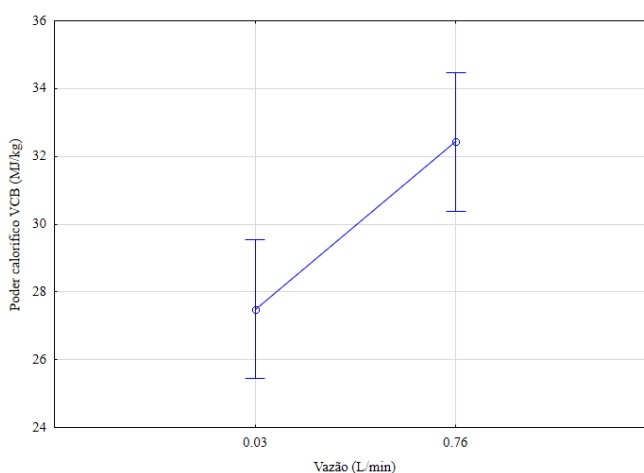
Figura 4.37. Diagrama de Pareto para a variável de resposta poder calorífico de VCB (MJ/kg).



Fonte: Elaboração da presente autora.

Segundo a Figura 4.37 houve um aumento do poder calorífico de VCB com o incremento da vazão de gás inerte ( $N_2$ ). Para fins de comparação, os resultados de poder calorífico dos óleos produzidos a partir da pirólise de ASR nas temperaturas de 500 e 700 °C, reportados por DE MARCO *et al.* (2007) e apresentados na Tabela 2.11 deste trabalho, variaram entre 38 e 41 MJ/kg e as concentrações de C e H variaram entre 81 e 86% e 8,8 e 9,6%, respectivamente.

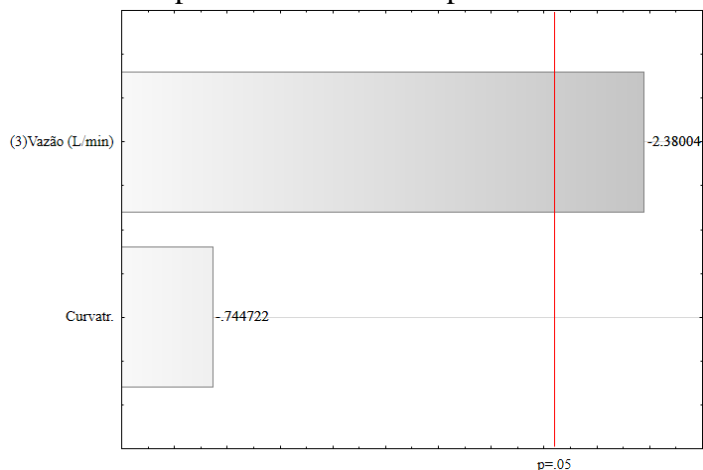
Figura 4.38. Variação do poder calorífico de VCB (MJ/kg) em função da variável vazão de gás inerte ( $N_2$ ).



Fonte: Elaboração da presente autora.

De maneira complementar, a análise estatística (Figura 4.39) indicou que, com um nível de confiança de 95%, a variável vazão de gás inerte ( $N_2$ ) também exerce efeito significativo (Valor-p < 0,05) sobre a razão molar O/C.

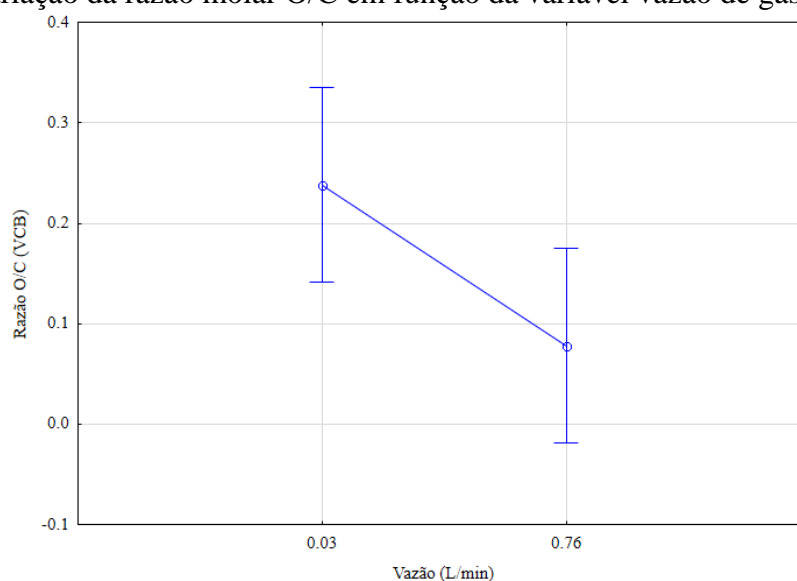
Figura 4.39. Diagrama de Pareto para a variável de resposta razão molar O/C.



Fonte: Elaboração da presente autora.

Conforme a Figura 4.40 houve uma redução da razão molar O/C com o incremento da vazão de gás inerte. Segundo KIM, KOO e LEE (2014), a redução da razão molar O/C está associada a ocorrência de reações de aromatização e desoxigenação dos vapores primários de pirólise. A ocorrência das referidas reações pode ter ocasionado o aumento do poder calorífico do VCB com o incremento da vazão de gás inerte.

Figura 4.40. Variação da razão molar O/C em função da variável vazão de gás inerte ( $N_2$ ).

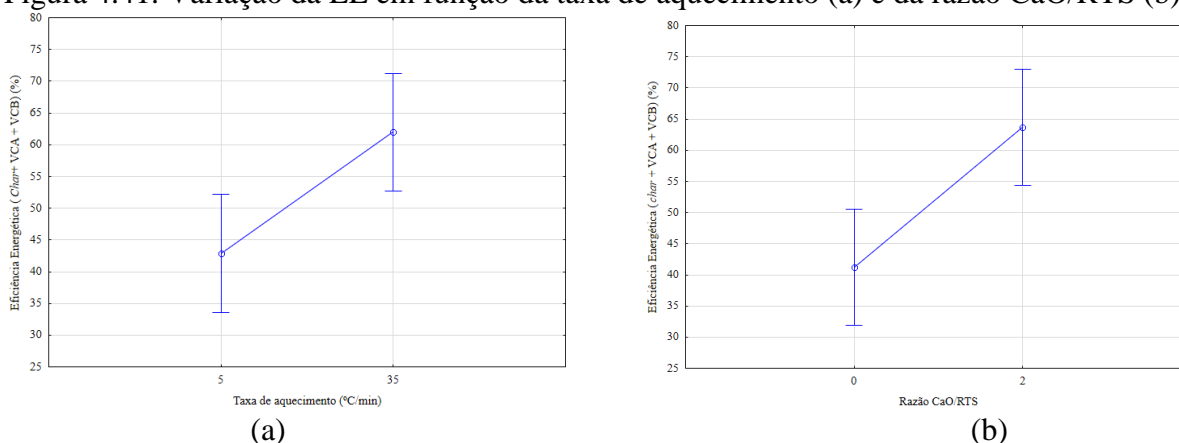


Fonte: Elaboração da presente autora.

#### 4.13 Eficiência energética mínima (EE) dos ensaios de pirólise do RTS

A eficiência energética mínima (EE) do processo de pirólise do RTS foi obtida segundo a Equação 3.8. Os valores de EE para todas as condições experimentais estão apresentados no Apêndice 11. Para a determinação da EE não foi considerada a energia química presente no gás não-condensável, pois há uma variação muito elevada da concentração dos gases presentes nesta corrente, desde a etapa de aquecimento da amostra no reator até a região isotérmica do ensaio de pirólise do RTS. A análise estatística da EE do processo de pirólise do RTS indicou, com um nível de confiança de 95%, que as variáveis taxa de aquecimento e razão CaO/RTS influenciaram a EE. A Figura 4.41 apresenta o comportamento das referidas variáveis sobre a eficiência energética mínima.

Figura 4.41. Variação da EE em função da taxa de aquecimento (a) e da razão CaO/RTS (b).



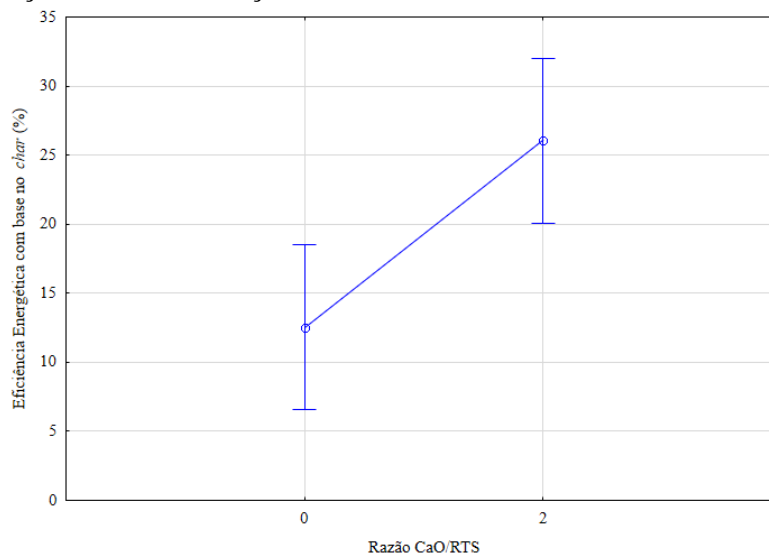
Fonte: Elaboração da presente autora.

A EE do processo de pirólise do RTS alcançou valores médios entre 60 e 65% (Figura 4.41), ou seja, em torno de 60% do conteúdo energético presente no RTS foi recuperado nas correntes de *char* e voláteis condensáveis. Tendo em vista que a EE não considera a energia presente na corrente de gás não-condensável, pode-se considerar que a EE do processo de pirólise do RTS foi apreciável. Para fins de comparação, MESA-PÉREZ *et al.* (2013) avaliaram o processo de pirólise rápida da palha de cana de açúcar, e reportaram uma eficiência energética em torno de 66% (considerando apenas a energia disponível nas correntes de *char* e voláteis condensáveis).

Ainda conforme a Figura 4.41 há um aumento da EE do processo de pirólise do RTS com o incremento da taxa de aquecimento e da razão CaO/RTS. O aumento do rendimento de voláteis condensáveis com o incremento da taxa de aquecimento (Figura 4.17), bem como o seu aumento com o incremento da temperatura na presença de CaO (Figura 4.18), contribuem para o aumento da EE. A análise estatística da EE do processo de pirólise do RTS considerando somente a corrente de *char* indicou, com um nível de confiança de 95%, que a razão CaO/RTS é a única variável com influência significativa sobre a EE. Conforme se observa na Figura 4.42 há um aumento significativo da EE na presença de CaO. O rendimento de *char* é maximizado a temperaturas baixas, enquanto a razão CaO/RTS tem pouca influência sobre o rendimento de *char* (Figura 4.15). Entretanto, o rendimento de *char* foi obtido considerando a ausência de CaO, ou seja, a partir da diferença entre a massa final de sólido e a massa de CaO adicionada no início do experimento. A EE foi definida a partir da presença de CaO (Equação 3.8), com o objetivo de tornar o seu resultado o mais real possível do processo de pirólise do RTS. Desta forma, nos experimentos na presença de CaO há um aumento significativo da massa de sólido

(*char* + CaCO<sub>3</sub> + CaO) ao final do experimento. Dado aumento se reflete no aumento da EE com o incremento da razão CaO/RTS.

Figura 4.42. Variação da EE em função da variável razão CaO/RTS.



Fonte: Elaboração da presente autora.

#### 4.14 Otimização do processo de pirólise do RTS pela função desejabilidade

O planejamento experimental utilizado durante o desenvolvimento deste trabalho também foi conduzido com o intuito de determinar condições experimentais ótimas. Para tal, a otimização do processo de pirólise do RTS pela função desejabilidade foi analisada com o auxílio do Software Statistica 12. Este procedimento consistiu em otimizar os níveis dos fatores principais para que as variáveis de resposta atingissem os valores desejados. As condições de desejabilidade estão apresentadas na Tabela 4.6. Os valores desejáveis compreendem maior eficiência energética mínima (%), maior retenção de Cloro no *char*, maior retenção de metais no *char* e maior desejabilidade global. As Figuras geradas pelo Statistica estão disponíveis no Anexo 4.

Tabela 4.6. Condições ótimas para o processo de pirólise do RTS.

Condição de desejabilidade <sup>1</sup>	Condição Operacional				Eficiência Energética mínima (%)	Retenção no <i>char</i> (%)									
	Temperatura (°C)	Taxa de aquecimento (°C/min)	Vazão de inerte (L/min)	Razão CaO/RTS		Cl	Al	Pb	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Eficiência Energética mínima (EE)	700	35	0,03	2	87,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Retenção de Cloro	500	5	0,03	2	-	62,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Retenção de Metais	500	35	0,03	0	-	-	80,7	83,2	57,6	4,1	3,7	17,1	23,2	5,7	66,0
Desejabilidade global <sup>2</sup>	500	35	0,03	0	47,9	30,9	80,7	83,2	57,6	4,1	3,7	17,1	23,2	5,7	66,0

1. Para todas as condições avaliadas a condição ótima está associada ao maior valor para a variável em análise.
2. Eficiência Energética mínima + retenção de cloro no *char* + retenção de metais no *char*.

Os valores preditos pela função desejabilidade (Tabela 4.6) apresentaram boa concordância com os valores experimentais médios observados nos experimentos de pirólise. Conforme se observa na Tabela 4.6 a maior temperatura (700 °C) favorece apenas o aumento da eficiência energética (EE) do processo de pirólise do RTS, enquanto a menor taxa de aquecimento (5 °C/min) favorece apenas a retenção de cloro no *char*. A menor vazão de gás inerte (N<sub>2</sub>) (0,03 L/min) contribui para o incremento de todas as condições de desejabilidade. A presença de CaO favorece a EE e a retenção de cloro no *char*, porém prejudica a retenção de metais no *char* e a desejabilidade global. A retenção de metais é afetada significativamente pela presença de cloro no resíduo, pois na presença de CaO há a formação de cloretos metálicos voláteis, e conseqüentemente uma redução da retenção dos metais no *char*. Ainda é possível observar, através da Tabela 4.6 que há volatilização de metais mesmo na ausência de CaO, o que indica que o HCl proveniente da degradação térmica do PVC presente no RTS esteja reagindo diretamente com os óxidos metálicos para a formação dos cloretos metálicos voláteis, conforme sugerido por NOWAK *et al.* (2011). Para a determinação da EE não foi considerada a energia presente na corrente de gás não-condensável, que aumenta com a presença do CaO, devido a captura *in situ* do CO<sub>2</sub>. A remoção do cloro permitiria conduzir o processo de pirólise a temperaturas mais elevadas, aumentando a EE do processo. Desta forma, fica clara a necessidade da remoção do cloro do RTS antes do processo de pirólise, pois a partir disto o uso do CaO contribuiria para o aumento da EE e da retenção de metais no *char*, e conseqüentemente da desejabilidade global.

## 5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento desta tese podem ser citadas as seguintes conclusões:

Na identificação e quantificação dos materiais presentes no RTS, verificou-se que os principais polímeros presentes no resíduo foram o poliestireno e o polietileno (em torno de 46% da massa da amostra). Verificou-se que a amostra de RTS também possui uma fração significativa de outros polímeros (em torno de 27% em massa da amostra), além de metais, borracha e madeira. Foi detectada ainda uma fração de partículas de pequenas dimensões (10% em massa da amostra), composta basicamente de terra e areia e denominada como finos (tamanho de partícula menor do que 2,36 mm);

- A análise termogravimétrica (TGA/DTG) do RTS indicou que a degradação térmica do RTS ocorre em 3 fases distintas. A primeira fase está associada a degradação térmica da hemicelulose e da celulose presentes na madeira contida no RTS, enquanto a segunda fase está associada a degradação térmica do poliestireno, e a última fase a degradação térmica dos demais polímeros presentes no RTS.

- A partir dos resultados de análise imediata, elementar e de poder calorífico do RTS, verificou-se uma elevada quantidade de matéria volátil ( $76,22 \pm 6,90$ ) e uma baixa quantidade de carbono fixo ( $7,04 \pm 6,86$ ). O RTS apresenta elevados teores de carbono ( $72,92\%$ ) e hidrogênio ( $9,86\%$ ), possivelmente associados à elevada quantidade de polímeros e borrachas presentes no resíduo. O enxofre ( $0,21\%$ ) presente no RTS pode ser atribuído a presença de borracha no resíduo, enquanto o cloro ( $1,33\% \pm 0,13$ ) pode ser atribuído a presença do PVC no resíduo. O poder calorífico superior do RTS foi de  $30,01 \pm 1,22$  MJ/kg.

- A presença de metais no RTS apresentou a seguinte ordem de concentração: Fe>>Zn>Al>Cu>Cr>Mn>Pb>Ni>Co.

- O rendimento de gás não-condensável mais elevado foi observado para a menor taxa de aquecimento ( $5$  °C/min), enquanto a razão CaO/RTS apresenta uma leve influência sobre o rendimento de gás não-condensável, evidenciada apenas na região próxima a taxa de aquecimento de  $35$  °C/min.

- O poder calorífico do gás não-condensável aumentou com o incremento da razão CaO/RTS. Os valores mais elevados do poder calorífico do gás não-condensável obtidos a partir da pirólise do RTS ( $\approx 25$  MJ/Nm<sup>3</sup>) são apreciáveis, considerando o poder calorífico de outros combustíveis (poder calorífico do gás natural  $\approx 35$  MJ/Nm<sup>3</sup>).



- Os rendimentos de *char* mais significativos (>24 %) foram obtidos nos experimentos com a utilização de uma temperatura menor (500 °C), associada a ausência de CaO.
- O rendimento de voláteis condensáveis aumentou com o incremento da taxa de aquecimento, enquanto os menores rendimentos de voláteis condensáveis foram obtidos quando a vazão de inerte (N<sub>2</sub>) foi menor (0,03 L/min). Também foi possível verificar que houve um aumento do rendimento de voláteis condensáveis com a presença de CaO para a temperatura de 700 °C. Este comportamento deve estar associado ao maior rendimento global de estireno nas referidas condições operacionais (700 °C e razão CaO/RTS 2). A presença de etilbenzeno em concentrações significativas para grande parte dos ensaios de pirólise do RTS foi também considerada como um indicativo da formação de estireno pela alquilação de Friedel-Crafts. O rendimento global de 2,4-dimetil-1-heptano também apresentou comportamento semelhante ao observado para o rendimento de voláteis condensáveis, indicando que o AlCl<sub>3</sub> pode ter atuado como catalisador da pirólise do PP presente no RTS.
- O aumento da taxa de aquecimento resultou na redução da concentração de hidrogênio (H<sub>2</sub>) no gás não-condensável. Observou-se ainda que, com o aumento da razão CaO/RTS, houve uma redução da concentração de CO<sub>2</sub> e um aumento da concentração de CO e CH<sub>4</sub> no gás não-condensável. A redução da concentração de CO<sub>2</sub> na presença de CaO está associada a formação de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>). A presença de CaCO<sub>3</sub> no *char* produzido a partir dos ensaios de pirólise do RTS foi confirmada pela análise de difração de raios – X. Os experimentos indicaram que com o aumento da vazão de gás inerte (N<sub>2</sub>) houve um incremento da concentração de hidrocarbonetos (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) no gás não-condensável.
- A retenção de cloro no *char* foi mais elevada nos ensaios conduzidos na presença de CaO, bem como houve uma redução da retenção de cloro no *char* com o aumento da temperatura para os ensaios conduzidos na presença de CaO. Por outro lado, para os ensaios conduzidos na ausência de CaO, a retenção de cloro ficou relativamente constante com o aumento da temperatura. A retenção de cloro nos experimentos conduzidos na ausência de CaO foi atribuída a adsorção de HCl (formado a partir da degradação do PVC) no *char*. A redução da retenção de cloro no *char* com o incremento da temperatura observada para os experimentos conduzidos na presença de CaO foi atribuída a reação (4.4), sendo que o cloro estaria sendo volatilizado na forma de um cloreto metálico em fase gás. A presença do silício foi constatada através da análise de EDS. Além disto, o siliceto de cálcio (CaSi<sub>2</sub>) foi identificado através da

análise de difração de raios-X. Tanto na presença, quanto na ausência de CaO houve uma redução da retenção de cloro com o aumento da vazão de inerte (N<sub>2</sub>).

- A retenção de metais no *char* foi influenciada pela presença do CaO, sendo que foi verificada uma diminuição da retenção dos seguintes metais no *char* na presença de CaO: Co, Cu, Cr, Fe, Ni e Zn, enquanto houve um aumento da retenção de Al e Mn. A redução da retenção dos referidos metais foi atribuída a formação de CaCl<sub>2</sub> a partir da reação do HCl com o CaO, e posterior volatilização dos metais na forma de cloretos metálicos.

- A análise estatística indicou que nenhuma das quatro variáveis (temperatura, taxa de aquecimento, vazão de gás inerte e razão CaO/RTS) exerce efeito significativo sobre o poder calorífico de VCA. Contudo, para o poder calorífico dos vapores condensáveis nos demais borbulhadores (VCB), a análise estatística indicou que a vazão de gás inerte (N<sub>2</sub>) exerce efeito significativo sobre o poder calorífico de VCB. O poder calorífico de VCB aumenta com o incremento da vazão de gás inerte, enquanto a razão molar O/C diminui com o aumento da vazão de gás inerte, indicando a ocorrência de reações de aromatização e desoxigenação.

- O processo de conversão termoquímica, através da pirólise, apresentou elevado potencial para o reaproveitamento do RTS, em substituição a destinação em aterros industriais. Entretanto, a remoção do cloro permitiria conduzir o processo de pirólise a temperaturas mais elevadas, aumentando a Eficiência Energética mínima do processo. Desta forma, fica clara a necessidade da remoção do cloro do RTS antes do processo de pirólise, pois a partir disto o uso do CaO contribuiria para o aumento da EE e da retenção de metais no *char*, e conseqüentemente da desejabilidade global.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar experimentos (térmicos/mecânicos) para a remoção do PVC presente no RTS, com o objetivo de reduzir a presença de cloro no resíduo.
- Estudar o efeito da adição de CaO em outras razões, ou ainda a utilização de outros adsorventes, com o objetivo de encontrar uma condição experimental adequada para a captura *in situ* do CO<sub>2</sub>, e simultaneamente para que não ocorra volatilização dos metais presentes no resíduo;
- Estudar a adsorção de CO<sub>2</sub> a partir do *char* produzido nos experimentos de pirólise do RTS;
- Realizar experimentos de gaseificação à vapor do RTS, objetivando a produção de um gás rico em H<sub>2</sub> e CO;
- Realizar testes de gaseificação à vapor do RTS na presença de um catalisador, objetivando a redução do rendimento dos vapores condensáveis, e conseqüentemente um incremento do rendimento de gás não-condensável;

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos Sólidos- Classificação. NBR 10.004, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas – Amostragem de Resíduos Sólidos. NBR 10.007, 2004.

Annual Book of ASTM Standards, Vol. 1987, American Society of Testing Materials, Philadelphia, pp. E1131-E1186.

Annual Book of ASTM Standards, Vol. 05.06, Standard Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke, American Society of Testing Materials, West Conshohocken, PA. D5865, 2013.

Annual Book of ASTM Standards, Vol. 05.06, Standard Practice of Proximate Analysis of Coal and Coke, American Society of Testing Materials, West Conshohocken, PA. D3172-89, 1997.

Annual Book of ASTM Standards, Vol. 05.06, Standard Test Method for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal and Coke, American Society of Testing Materials, West Conshohocken, PA, 2002. D5373-02.

Annual Book of ASTM Standards, Vol. 05.06, Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke, American Society of Testing Materials, West Conshohocken, PA. D3173-87, 1996.

Annual Book of ASTM Standards, Vol. 05.06, Standard Test Method for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion, West Conshohocken, PA, 2014. D4239-14e2.

Annual Book of ASTM Standards, Vol. 05.06, Standard Test Method for Total Chlorine in Coal by Oxygen Bomb Combustion/Ion Selective Electrode Method, West Conshohocken, PA, 2013. D4208-02e1.

ADAM, C., PEPLINSKI, B., MICHAELIS, M., KLEY, G., SIMON, F.G. **Thermochemical treatment of sewage sludge ashes for phosphorus recovery.** Waste Management, 29, 2009, 1122-1128.

AGRADO, J., SERRANO, D. **Feedstock recycling of plastic wastes.** RSC Clean Technology Monographs. Editora James H. Clark. Cap. 4, 1999, 73-117.

AHMED, I.I., GUPTA, A.K. **Hydrogen production from polystyrene pyrolysis and gasification: Characteristics and kinetics.** International Journal of Hydrogen Energy, 34, 2009, 6253-6264.

ALMEIDA, D., MARQUES, M.F. **Thermal and catalytic pyrolysis of plastic waste.** Polímeros, 26 (1), 2016, 44-51.

AL-SALEM, S.M., LETTIERI, P., BAEYENS, J. **The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: From re-use to energy and chemicals.** Progress in Energy and Combustion Science, 36, 2010, 103-129.

AMBROSE, C.A. **End-of-life (ELV) vehicle waste arising, disposal and legislation.** Waste management, 11, 2000, 44-46.

AMBROSE, C.A., HOOPER, R., POTTER, A.K., SINGH, M.M. **Diversion from landfill: Quality products from valuable plastics.** Resources, Conservation and Recycling, 36, 2002, 309-318.

ANZANO, M., COLLINA, E., PICCINELLI, E., LASAGNI, M. **Lab-scale pyrolysis of the Automotive Shredder Residue light fraction and characterization of tar and solid Products.** Waste Management, 64, 2017, 263-271.

ARAÚJO, J.S. Estudo Paramétrico do Processo de Combustão in situ como Método de Recuperação Avançada de Petróleo. **Tese de doutorado da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.** Natal, 2012.

ARTETXE, M., LOPEZ, G., ARMUTIO, M., ELORDI, G., BILBAO, J., OLAZAR, M. **Light olefins from HDPE cracking in a two-step thermal and catalytic process.** Chemical Engineering Journal, 207-208, 2012, 27-34.

BAREEL, P.F., COURARD, L., BASTIN, D., FRENAY, J. **Potential valorization for the finest particles of automotive shredder residue (ASR) as filler in bituminous concrete.** In: Proceedings of the Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology, 2004, 2937.

BECKMANN, M., FONTANA, A., LAURENT, P.H., JUNG, C.G., GEHRMANN, J. **Municipal waste pyrolysis (2), chlorine capture by addition of calcium and sodium-based sorbents.** Erdöl Erdgas Kohle, 117, 2001, 1-5.

BOCKHORN, H., HORNING, A., HORNING, U., JAKOBSTRÖER, P., KRAUS, M. **Dehydrochlorination of plastic mixtures.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 49, 1999, 97-106.

BOCKHORN, H., HORNING, A., HORNING, U., SCHAWALLER, D. **Kinetic study on the thermal degradation of polypropylene and polyethylene.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 48, 1999, 93-109.

BORJESON, L., LOFVENIUS, G., HJELT, M., JOHANSSON, S., MARKLUND, S. **Characterization of automotive shredder residues from two shredding facilities with different refining processes in Sweden.** Waste Management & Research, 18, 2000, 358-366.

BOUGHTON, B. **Evaluation of Shredder Residue as Cement Manufacturing Feedstock,** California Environmental Protection Agency, USA, 2006.

BOUGHTON, B. e HORVATH, A. **Environmental assessment of shredder residue management.** Resources, Conservation and Recycling, 47, 2006, 1-25.

BRIDGWATER, A.V. **Progress in Thermochemical biomass conversion.** Editora Wiley-Blackwell, 2008.

CALADO, V., MONTGOMERY, D.C. **Planejamento de experimentos usando o Statistica**. Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais, 2003.

CARVALHO, G.A., ZATTERA, A.J., BRANDALISE, R.N., FINKLER, R., CORRÊA, L.N. **Curso de Reciclagem de Materiais Poliméricos. Identificação e Caracterização**, 2002.

CASTRO, A., VILARINHO, C., SOARES, D., CASTRO, F. **Kinetic Study of Thermal De-Chlorination of PVC-Containing Waste**. Materials Science Forum Vols, 730-732, 2013, 611-616.

CEN Comité Européen de Normalisation. BT/TF 143: **Biomass Gasification: Tar and Particles in Product Gases– Sampling and Analysis**, 2004.

CHAN C., JIA, C.Q., GRAYDON, J.W., KIRK, D.W. **The behaviour of selected heavy metals in MSW incineration electrostatic precipitator ash during roasting with chlorination agents**. Journal of Hazardous Materials, 50, 1996, 1-13.

CHAN, C.C.Y., KIRK, D.W. **Behaviour of metals under the conditions of roasting MSW incinerator fly ash with chlorinating agents**. Journal of Hazardous Materials B, 64, 1999, 75-89.

CHEN, W., LIN, B. **Characteristics of products from the pyrolysis of oil palm fiber and its pellets in nitrogen and carbon dioxide atmospheres**. Energy, 94, 2016, 569-578.

CHUMBHALE, V.R., KIM, J.S., LEE, S.B., CHOI, M.J. **Catalytic degradation of expandable polystyrene waste (EPSW) over mordenite and modified mordenites**. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 222, 2004, 113-141.

COLLAZZO, G.C., BROETTO, C.C., PERONDI, D., JUNGES, J., DETTMER, A., DORNELLES FILHO, A.A., FOLETTO, E.L., GODINHO, M. **A detailed non-isothermal kinetic study of elephant grass pyrolysis from different models**. Applied Thermal Engineering, 110, 2017, 1200-1211.

COLLINS, C., FANNING, A., CROWE, M., MEANEY, B. **End of Life Vehicles in Ireland**. A Sectoral Report, EPA, Ireland, 2002.

COSTA, P.A.C. **Produção de hidrocarbonetos líquidos e gasosos por pirólise de resíduos plásticos**. Tese de doutorado em Engenharia Química da Universidade de Lisboa. Lisboa, 2006.

COZZANI, V., NICOLELLA, C., ROVATTI, M., TOGNOTTI, L. **Influence of gas-phase reactions on the product yields obtained in the pyrolysis of polyethylene**. Industrial & Engineering Chemistry Research, 36, 1997, 342-348.

CULLITY, B.D., STOCK, S.R. **Elements of x-ray diffraction**. 3. Ed. Upper Saddle River, NJ. Prentice Hall, 2001.

CUESTA, M.J., RUBIERA, F., ARENILLAS, A., IGLESIAS, M.J., SUAREZ-RUIZ, I. **Evaluation of the combustion behaviour of perhydrous coals by thermal analysis**. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 81 (2), 2005, 333-337.

CZERNIK, S., FRENCH, R.J. **Production of Hydrogen from Plastics by Pyrolysis and Catalytic Steam Reform.** Energy & Fuels, 20, 2006, 754-758.

DANIELS, E.J., JODY, B.J., BONSIGNORE, P.V. **Alternatives for recycling of auto shredder residue.** Journal of resource management and technology, 20, 1992, 14-26.

DAY, M., GRAHAM, J., LACHMANSINGH, R., CHEN, E. **Characterization of auto shredder residue — a Canadian perspective**<sup>1</sup>. Resources Conservation and Recycling, 9 (4), 1993, 255-279.

DAY, M. e SHEN, J. **Automobile Shredder Residue - An Assessment of Thermal Recycling as a Recovery Option**, National Research Council Canada, Institute for Chemical Process and Environmental Technology, Canada, 1997.

DAY, M., SHEN, Z., COONEY, J.D. **Pyrolysis of automobile shredder residues: experiments with a laboratory screw kiln reactor.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 51, 1999, 181–200.

DAS, S., CURLEE, T.R., RIZY, C.G., SCHEXNAYDER, S.M. **Automobile recycling in the United States: energy impacts and waste generation.** Resources, Conservation and Recycling, 14, 1995, 265-284.

DE CONTO, D. **Conversão termoquímica de capim-elefante em reator rotativo.** Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias da Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2016.

DE MARCO, I., CABALLERO, B.M., CABRERO, M.A., LAREGOITI, M.F., TORRES, A., CHOMÓN, M.J. **Recycling of automobile shredder residues by means of pyrolysis.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 79, 2007, 403-408.

DEMIRBAS, A. **Pyrolysis of municipal plastic waste for recovery of gasoline-range hydrocarbons.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 72, 2004, 97-102.

DEMIRBAS, A. **Recovery of chemicals and gasoline-range fuels from plastic wastes via pyrolysis.** Energy Sources, 27, 2005, 1313-1319.

DUTTA, U., IBADAT, I., KLEMPER, D., KESHAWARZ, M.S. **Laboratory performance of ASR modified asphalt binders.** Journal of Elastomers and Plastics, 29, 1997, 326-342.

ELORDI, G., LOPEZ, G., OLAZAR, M., AGUADO, R., BILBAO, J. **Product distribution modelling in the thermal pyrolysis of high-density polyethylene.** Journal of Hazardous Materials, 144, 2007, 708-714.

FARAVELLI, T., PINCIROLI, M., PISANO, F., BOZZANO, G., DENTE, M., RANZI, E. **Thermal Degradation of polystyrene.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 60 (1), 2001, 103-121.

FERNÁNDEZ, A.M., BARRIOCANAL. C., ALVAREZ, R. A.M. **Pyrolysis of a waste from the grinding of scrap tyres.** Journal of Hazardous Materials, 203– 204, 2012, 236– 243.

FINK, J.K. **Pyrolysis and combustion of polymer wastes in combination with metallurgical processes and the cement industry.** *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 51, 1999, 239-252.

FONTANA, A., LAURENT, P.H., KESTEMONT, C., BRAEKMAN-DANHEUX, C. **Municipal waste pyrolysis (1): the behaviour of chlorine with cellulose and lignin.** *Erdöl Erdgas Kohle*, 116, 2000, 89–92.

FORTON, O.T., HARDER, M.K., MOLES, N.R. **Value from shredder waste: possibilities and limitations.** *Resources, Conservation and Recycling*, 46, 2006, 104-113.

FRAISSLER, G., JÖLLER, M., MATTENBERGER, H., BRUNNER, T., OBERNBERGER, I. **Thermodynamic equilibrium calculations concerning the removal of heavy metals from sewage sludge ash by chlorination.** *Chemical Engineering and Processing*, 48 (1), 2009, 152-164.

GALVAGNO, S., FORTUNA, F., CORNACCHIA, G., CASU, S., COPPOLA, T., SHARMA, V.K. **Pyrolysis process for treatment of automobile shredder residue: preliminary experimental results.** *Energy Conversion and Management*, 42, 2001, 573-586.

GEARHART, J., MENKE, D., GRIFFITH, C., MILLS, K. **Getting the Lead Out. Impacts of and Alternatives for Automotive Lead Uses.** Ecology Center: Ann Arbor, 2003.

GODINHO, M. **Gaseificação e combustão de resíduos sólidos da indústria calçadista.** Tese de Doutorado. Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

GONÇALVES, C.K. **Pirólise e combustão de resíduos plásticos.** Dissertação de mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia. São Paulo, 2007.

GUISNET, M., MAGNOUX, P. **Organic chemistry of coke formation.** *Applied Catalysis A*, 212, 2001, 83-96.

GUNASEE, S.D., CARRIER, M., GORGENS, J.F., MOHEE, R. **Pyrolysis and combustion of municipal solid wastes: Evaluation of synergistic effects using TGA-MS.** *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 121, 2016, 50-61.

GUO, Q., ZHANG, X., LI, C., LIU, X., LI, J. **TG-MS study of the termo-oxidative behavior of plastic automobile shredder residues.** *Journal of Hazardous Materials*, 209– 210, 2012, 443– 448.

HAN, L., WANG, Q., MA, Q., YU, C., LUO, Z., CEN, K. **Influence of CaO additives on wheat-straw pyrolysis as determined by TG-FTIR analysis.** *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 88, 2010, 199-206.

HARDER, M.K. e FORTON, O.T. **A critical review of developments in the pyrolysis of automotive shredder residue.** *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 79, 2007, 387–394.



HERRERA, M., MATUSCHEK, G., KETTRUP, A. **Main Products and kinetics of thermal Degradation of polyamides.** Chemosphere, 42, 2001, 601-607.

HORNUNG, A., BOCKHORN, H., HENTSCHEL, J., HORNUNG, U. **Environmental engineering: stepwise pyrolysis of plastic waste.** Chemical Engineering Science, 54, 1999, 3043-3051.

Instituto Aço Brasil. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br>. Acessado em 31 de Outubro de 2016.

ISLAM, M.R., JOARDDER, M.U.H., HASAN, S.M., TAKAI, K., HANIU, H. **Feasibility study for thermal treatment of solid tire wastes in Bangladesh by using pyrolysis technology.** Waste Management, 31, 2011, 2142–2149.

JEFFERY, G. H., BASSET, J., MENDHAM, J., DENNEY, R. C. **Vogel's Textbook of quantitative chemical analysis.** 5. ed., England: Longman Scientific & Technical, 1989.

JODY, B.J., DANIELS, E.J. **Automobile shredder residue: treatment options.** Waste Hazard, 8 (3), 1991, 219-230.

JOHNSON, MR e WANG, M.H. **Evaluation policies and automotive recovery options according to the European Union directive on end-of-life vehicles (ELV).** Proc Inst Mech Eng Part D: Journal of Automobile Engineering 216, 2002, 723–739.

JOUNG, H.T., SEO, Y.C., KIM, K.H. **Distribution of dioxins, furans, and dioxin-like PCBs in solid products generated by pyrolysis and melting of automobile shredder residues.** Chemosphere, 68, 2007, 1636-1641.

KAKIMOTO, K., NAKANO, Y., YAMASAKI, K., SHIMIZU, K., IDEMITSU, T. **Use of fine-grained shredder dust as a cement admixture after a melting, rapid-cooling and pulverizing process.** Applied Energy, 79, 2004, 425-442.

KAMISNKY, W., ZORRIQUETA, I.J.N. **Catalytical and thermal pyrolysis of polyolefins.** Journal os Analytical and Applied Pyrolysis, 79, 2007, 368-374.

KELLER, C. **Optimised disposal of automotive shredder residue.** In: Municipal Solid Waste Management- Strategies and Technologies for Sustainable Solutions. Ludwig, C., Hellweg, S., Stucki, S., (Eds.), Springer-Verlag, Heidelberg (Germany), 2003, 294-307.

KIM, S.W., KOO, B.S., LEE, D.H. **Catalytic pyrolysis of palm kernel shell waste in a fluidized bed.** Bioresource Technology, 167, 2014, 425-432.

KURAMOCHI, H., NAKAJIMA, D., GOTO, S., SUGITA, K., WU, W., KAWAMOTO, K. **HCl emission during co-pyrolysis of demolition wood with a small amount of PVC film and the effect of wood constituents on HCl emission reduction.** Fuel, 87, 2008, 3155–3157.

LANDO, V.R. **Reações de acoplamento para a obtenção de olefinas.** Tese de doutorado do curso de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

LANOIR, D., TROUVE, G., DELFOSSE, L. **Laboratory scale studies on gaseous emissions generated by the incineration of an artificial automotive shredder residue presenting a critical composition.** Waste Management, 17 (8), 1997, 475-482.

LANOIR, D., TROUVE, G., DELFOSSE, L., FROELICH, D. **Physical and chemical characterization of automotive shredder residues.** Waste Management & Research 15, 1997, 267-276.

LEE, S.Y., YOON, J.H., KIM, J.R., PARK, D.W. **Degradation of polystyrene using clinoptilolite catalysts.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 64, 2002, 71-83.

LINDENBERG, H.-U.; DE HAAS, H.; JUCHHOFF, W.; JANZ, J., REIMER, G., WEISS, W. **Rohstoffliches Recycling von Kunststoffen als Reduktionsmittel im Hochofen.** Stahl und Eisen, v. 116, n. 8, 1996, 89-93.

LOHSE, J., SANDER, K., WIRTS, M. **Heavy metals in Vehicles II.** Final Report. OKOPOL, Hamburg, 2001.

LUENGEN, H.B., SCHMOELE, P. **Injection of reducing agents into BF.** In: Proceedings of the ISS Tech Conference, 2003, 827-839.

LUNDQVIST, U., ANDERSSON, B., AXSÄTER, M., FORSBERG, P., HEIKKILA, K., JONSON, U., LARSSON, Y., LILJENROTH, U., SJÖBERG, C., STRÖMBERG, K., WENDIN, M. **Design for Recycling in the Transport Sector—Future Scenarios and Challenges.** Department of Physical Resource Theory, Chalmers University of Technology, Göteborg University, Sweden, 2004.

MAYORAL, M.C., IZQUIERDO, M.T., ANDRÉS, J.M., RUBIO, B. **Different approaches to proximate analysis by thermogravimetry analysis.** Thermochemica Acta, 370, 91-97, 2001.

MALKOW, T. **Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal.** Waste Management, 24, 2004, 53-79.

MARCO, I.D., CABALERRO, B., TORRES, A., LAREGOITI, M.F., CHOMÓN, M.J., CABRERO, M.A. **Recycling polymeric wastes by means of pyrolysis.** Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 77 (7), 2002, 817-823.

MARK, F.E. **Del Reciclado a la Energía.** In Conferencia Internacional sobre Innovación en la valorización de los residuos plásticos. Madrid: Spain, 2000.

MASTRAL, J.F., BERRUECO, C., CEAMANOS, J. **Pyrolysis of high-density polyethylene in free-fall reactor in series.** Energy & Fuels, 20, 2006, 1365-1371.

MESA-PÉREZ, J.M., ROCHA, J.D., BARBOSA-CORTEZ, L.A., PENEDO-MEDINA, M., LUENGO, C.A., CASCAROSA, E. **Fast oxidative pyrolysis of sugar cane straw in a fluidized bed reactor.** Applied Thermal Engineering, 56, 2013, 167-175.

MIRABILE, D., PISTELLI, M.I., MARCHESINI, M., FALCIANI, R., CHIAPELLI, L. **Thermal valorization of automobile shredder residue: injection in blast furnace.** Waste Management, 22 (8), 2002, 841-851.

MO, Y., ZHAO, L., WANG, Z., CHEN, C.L., TAN, G.Y., WANG, J.Y. **Enhanced styrene recovery from waste polystyrene pyrolysis using response surface methodology coupled with Box-Behnken design.** Waste Management, 34, 2014, 763-769.

MONTGOMERY, D.C. **Diseño y análisis de experimentos.** Trad. por Jaime Delgado Saldivar. México, Iberoamérica, 1991.

MOTHÉ, C. G., AZEVEDO, A. D. **Análise Térmica dos Materiais,** São Paulo: Editora, 2002.

NAMIOKA, T., SAITO, A., INOUE, Y., PARK, Y., MIN, T.J., ROH, S.A., YOSHIKAWA, K. **Hydrogen-rich gas production from waste plastics by pyrolysis and low-temperature steam reforming over a ruthenium catalyst.** Applied Energy, 88, 2011, 2019-2026.

NOURREDDINE, M. **Recycling of auto shredder residue.** Journal of Hazardous Materials, A139, 2007, 481-490.

NOWAK, B., PERUTKA, L., ASCHENBRENNER, P., KRAUS, P., RECHBERGER, H., WINTER, F. **Limitations for heavy metal release during thermo-chemical treatment of sewage sludge ash.** Waste Management, 31, 2011, 1285-1291.

NOWAK, B., ROCHA, S.F., ASCHENBRENNER, P., RECHBERGER, H., WINTER, F. **Heavy metal removal from MSW fly ash by means of chlorination and thermal treatment: Influence of the chloride type.** Chemical Engineering Journal, 179, 2012, 178-185.

OGAKI, Y.; TOMIOKA, K.; WATANABE, A.; ARITA, K.; KURIYAMA, I.; SUGAYOSHI, T. **Recycling of waste plastic packaging in a blast furnace system.** NKK Technical Review, n. 84, 2001.

PARK, J.J., PARK, K., KIM, J.S., MAKEN, S., SONG, H., SHIN, H., PARK, J.W., CHOI, M.J. **Characterization of styrene recovery from the pyrolysis of waste expandable polystyrene.** Energy & Fuels, 17, 2003, 1576-1582.

PARK, S.S., SEO, D.K., LEE, S.H., YU, T.U., HWANG, J. **Study on pyrolysis characteristics of refuse plastic lab-scale tube furnace and thermogravimetric analysis reactor.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 97, 2012, 29-38.

PASEL, C. e WANZL, W. **Experimental investigations on reactor scale-up and optimisation of product quality in pyrolysis of shredder waste.** Fuel Processing Technology, 80, 2003, 47-61.

PERA, J., AMBROISE, J., CHABANNET, M. **Valorization of automotive shredder residue in building materials.** Cement and Concrete Research, 34, 2004, 557-562.

PERES, A. P. G.; LUNELLI, B. H.; FILHO, R. M. **Application of biomass to hydrogen and syngas production.** Chemical Engineering Transactions, v. 32, p. 589–594, 2013.

PRAGNA, N.H. e BRAKTA, M. **Recent technology and trends in automotive recycling.** Journal of The Minerals, Metals & Materials Society, 46 (2), 1994, 36-39.

QUYN, D.M., WU, H., LI, C.Z. **Volatilization and catalytic effects of alkali and alkali earth metallic species during the pyrolysis and gasification of Victorian brown coal. Part 1. Volatilization of Na and Cl from a set of NaCl-loaded samples.** Fuel, 81, 2002, 143-149.

RAUSA, R. e POLLESEL, P. **Pyrolysis of automotive shredder residue (ASR)–influence of temperature on the distribution of products.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 40/41, 1997, 383-401.

RAY, R., THORPE, R.B. **A comparison of gasification with pyrolysis for the recycling of plastic containing wastes.** International Journal of Chemical Reactor Engineering, 5, 2007, 10-26.

RECKZIEGEL, V.N. **Caracterização para o aproveitamento do resíduo de um triturador de sucata em uma usina siderúrgica.** Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

REYES, J.A., CONESA, J.A., MARCILLA, A. **Pyrolysis and combustion of polycoated cartons: kinetic model and MS-analysis.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 59, 2001, 747-763.

ROBSON, S. e GOODHEAD, T.C. **A process for incorporating automotive shredder residue into thermoplastic mouldings.** Journal of Materials Processing Technology, 139, 2003, 327-331.

RODOLFO, A., MEI, L.H. **Mechanisms of PVC thermal Degradation and stabilization: a review.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, 17 (3), 2007, 263-275.

ROY, C., CHAALA, A. **Vacuum pyrolysis of automobile shredder residues.** Resources, Conservation and Recycling, 32, 2001, 1–27.

ROY, C., CHAALA, A., DE LAET, M. **Vacuum pyrolysis of automobile shredder residues.** In JEMA Polyme`res '96, Le Havre, France, 1996, 7–8.

SAKAI, S., URANO, S., TAKATSUKI, H. **Leaching behavior of PCBs and PCDDs/DFs from some waste materials.** Waste Management, 20 (2), 2000, 241-247.

SANDER, K., LOHSE, J., PIRNTKE, U. **Heavy Metals in Vehicles.** Final Report. OKOPOL, Hamburg, 2000.

SAXENA, S.C., RAO, N.S., REHMAT, A., MENSINGER, M.C. **Combustion and co-combustion of auto fluff.** Energy, 20 (9), 1995, 877-887.

SCOTT, D.S., CZERNIK, S.R., PISKORZ, J., RADLEIN, A.G. **Fast pyrolysis of plastic wastes.** Energy & Fuels, 4, 1990, 407-411.

SENDIJAREVIC, V., POKORSKI, B., KLEMPER, D., FRISH, K.C. **New Plastic Applications for the Automotive Industry**. In: International Congress and Exposition: Society of Automotive Engineers, Detroit, 1997.

SHEN, Z., DAY, M., COONEY, J.D., LU, G., BRIENS, C.L., BERGOUGNOU, M.A. **Ultraprolysis of automobile shredder residue**. Canadian Journal of chemical engineering, 73 (3), 1995, 357-366.

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 3120 B Method, Metals by plasma emission Spectroscopy, 22 ND Edition, 2012.

TONGAMP, W., ZHANG, Q., SAITO, F. **Hydrogen generation from polyethylene by milling and heating with  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  and  $\text{Ni}(\text{OH})_2$** . International Journal of Hydrogen Energy, 33, 2008, 4097-4103.

TONN, B.E., SCHEXNAYDER, S.M., PERETZ, J.H., DAS, S., WAIDLEY, J. **An assessment of waste issues associated with the production of new, lightweight, fuel-efficient vehicles**. Journal of Cleaner Production, 11, 2003, 753-765.

TROUVE, G., KAUFFMANN, A., DELFOSSE, L. **Comparative thermodynamic and experimental study of some heavy metal behaviours during automotive shredder residues incineration**. Waste Management, 18, 1998, 301-307.

TUKKER, A., DE GROOT, H., SIMONS, L., WIEGERSMA, S. **Chemical recycling of plastic waste: PVC and other resins**. DG III, Final report, STB 99-55 Final. Delft, The Netherlands: European Commission, 1999.

US Environmental Protection Agency (EPA), 3050-B Method, revision 02, Acid digestion of sediments, sludges, and soils, 1996.

VIGANO, F., CONSONNI, S., GROSSO, M., RIGAMONTI, L. **Material and energy recovery from Automotive Shredded Residues (ASR) via sequential gasification and combustion**. Waste Management, 30, 2010, 145-153.

UENO, I., WAKIMOTO, K., OKADA, T., ASANUMA, M., HIROHA, H., ARIYAM, T. **Development of new process for ASR**. JSAE Review, 23, 2002, 504-505.

WANG, et al. **Comparison of catalytic pyrolysis of biomass with MCM-41 and CaO catalysts by using TGA-FTIR analysis**. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 89, 2010, 171-177.

WARNE, S.St.J. **Thermal analysis and coal assessment: an overview with new developments**. Thermochim. Acta, 272, 1-9, 1996.

WESTERHOUT, R.W.J., WAANDERS, J., KUIPERS, J.A.M., VAN SWAAIJ, W.P.M. **Kinetics of the low-temperature pyrolysis of polyethylene, polypropylene and polystyrene modeling. Experimental determination and comparison with literature models and data**. Industrial & Engineering Chemistry Research, 36, 1997, 1995-1964.

WIENZKE, B.J.J. **Press-Shears for cutting and/or baling scrap metal.** Metallurgist, 47, 2003, 11-12.

WILLIAMS, P.T., CUNLIFFE, A.M. **Composition of oils derived from the batch pyrolysis of Tyres.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 44, 1998, 131–152.

WILLIAMS, P.T., WILLIAMS, E.A. **Interaction of plastics in mixed-plastics pyrolysis.** Energy & Fuels, 13, 1999, 188-196.

WOO, O.S., BROADBELT, L.J. **Detailed mechanistic modeling of polymer degradation: application to polystyrene.** Chemical Engineering Science, 56, 2001, 971-979.

WONGSIRIAMNUAY, T.; TIPPAYAWONG, N. **Non-isothermal pyrolysis characteristics of giant sensitive plants using thermogravimetric analysis.** Bioresource Technology, v. 101, n. 14, 5638–5644, 2010.

WOOLLEY, W.D. **Nitrogen-containing products from the thermal decomposition of flexible polyurethane foams.** British Polymer Journal, 4 (1), 1972.

WU, C., WILLIAMS, P.T. **Hydrogen production by steam gasification of polypropylene with various nickel catalysts.** Applied Catalysis B: Environmental, 87, 2009 (a), 152-61.

WU, C., WILLIAMS, P.T. **Investigation of Ni-Al, Ni-Mg-Al and Ni-Cu-Al catalyst for hydrogen production from pyrolysis–gasification of polypropylene.** Applied Catalysis B: Environmental, 90, 2009 (b), 147-156.

XU, J.G., WATT, F.D., HUDOC, P.P., MACDONALD, A.K., NORTHWOOD, O.D. **Recycling automotive related wastes in concrete.** Journal of Materials Processing Technology, 48, 1995, 385-390.

ZHAO, H., SONG, Q., YAO, Q. **HCl Capture by Rice Straw Char and Its Influence on the Transformation of Alkali and Alkaline Earth Metallic Species during Pyrolysis.** Energy Fuels, 30 (7), 2016, 5854-5861.

ZOLEZZI, M., NICOLELLA, C., FERRARA, S., IACOBUCCI, C., ROVATTI, M. **Conventional and fast pyrolysis of automotive shredder residues (ASR).** Waste Management, 24, 2004, 691-699.

## APÊNDICE 1

Variável de resposta	-95% Cnf. Limt.	+95% Cnf. Limt.	Coefficiente médio	Equação
Rendimento de gás não-condensável (% m/m)	39,8	48,6	44,2	44,2 -7,2 tx +5,9 tx.r
Poder calorífico do gás não-condensável (MJ/Nm <sup>3</sup> )	17,2	20,8	19,0	19,0 +2,3 v +2,2 r
Rendimento de <i>char</i> (% m/m)	20,9	23,7	22,3	22,3 -1,5 t -2,0 t r
Rendimento de voláteis condensáveis (% m/m)	29,9	36,9	33,4	33,4 +4,4 t +7,2tx +4,4v +4,1r + 3,9 t r -6,5 tx r
Rendimento global de estireno (%)	2,2	4,1	3,1	3,1 +1,3 tx
Rendimento global de 2,4-dimetil-1 heptano (%)	1,3	2,3	1,8	1,8 +0,8 v -0,5 t tx +0,6 t r
Concentração de hidrogênio (% mol/mol)	42,2	53,3	47,7	47,7 -6,5 tx
Concentração de dióxido de carbono (% mol/mol)	13,9	25,4	19,7	19,7 -6,5 r
Concentração de monóxido de carbono (% mol/mol)	7,3	12,9	10,1	10,1 +3,3 r
Concentração de metano (% mol/mol)	9,3	13,5	11,4	11,4 +3,1 r -2,8 t r
Somatório C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> (% mol/mol)	7,8	13,5	10,7	10,7 +3,6 v
Poder calorífico do <i>char</i> (MJ/kg)	9,2	10,8	10,0	10,0 -6,5 r +0,9 tx r
Retenção de Cl no <i>char</i> (% massa)	37,0	42,8	39,9	39,9 -2,9 t -3,9 v +6,1 r -3,8 t r
Retenção de Al no <i>char</i> (% massa)	79,7	93,1	86,4	86,4 +11,9 r
Retenção de Co no <i>char</i> (% massa)	34,4	44,6	39,2	39,2 -10,6 r
Retenção de Cu no <i>char</i> (% massa)	1,9	2,9	2,4	2,4 -1,7 r
Retenção de Cr no <i>char</i> (% massa)	1,5	3,1	2,3	2,3 -0,9 r
Retenção de Fe no <i>char</i> (% massa)	10,8	14,2	12,5	12,5 -2,6 r
Retenção de Mn no <i>char</i> (% massa)	34,3	45,0	39,6	39,6 +20,7 r
Retenção de Ni no <i>char</i> (% massa)	2,9	4,1	3,5	3,5 -1,8 r
Retenção de Zn no <i>char</i> (% massa)	35,0	43,3	39,2	39,2-18,6 r
Retenção de Pb no <i>char</i> (% massa)	43,1	52,3	47,7	47,7 -6,9 t -33,9 r +5,7 t tx +5,9 t r -4,9 tx r

Poder calorífico de VCB (MJ/kg)	28,5	31,4	29,9	$29,9 + 2,5 v$
Razão molar O/C	0,1	0,2	0,1	$0,1 - 0,1 v$
eficiência Energética mínima (char + VCA + VCB) (%)	45,9	59,0	52,4	$52,4 + 9,5 tx + 11,3 r$

t= temperatura

tx= taxa de aquecimento

v= vazão

r=razão CaO/RTS



## APÊNDICE 2

Amostra	Metais presentes no RTS								
	Resultados expressos em mg/kg								
	Al	Pb	Co	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Zn
RTS (1)*	1195,52	73,95	2,21	879,60	58,21	7063,10	80,79	41,02	1345,50
RTS (2)*	13806,90	257,98	3,15	453,32	165,92	23103,00	856,70	27,30	1469,60
RTS (3)*	1202,31	198,45	11,62	551,64	3024,18	13836,28	194,90	1734,46	1708,08
RTS (1)**	3250,26	206,80	7,04	482,87	46,05	18914,85	337,49	43,77	4174,45
RTS (2)**	3227,25	162,26	5,55	415,57	38,79	16054,71	399,79	25,20	2183,06
RTS (3)**	3722,00	230,99	12,37	481,99	78,94	21258,52	499,03	60,27	4486,37
RTS (1)***	2981,15	349,96	2,96	96,47	56,105	21423,55	131,65	24,81	3981,04
RTS (2)***	9759,65	749,98	3,36	22861,84	160,11	57251,63	619,73	225,42	19668,58
RTS (3)***	1345,89	104,77	-	82,20	47,17	27062,84	140,594	23,81	4431,10

\*Digestão conduzida conforme o primeiro método descrito no item 4.3.8.2.

\*\* Digestão conduzida conforme o segundo método descrito no item 4.3.8.2.

\*\*\* Digestão conduzida conforme o terceiro método descrito no item 4.3.8.2.

## APÊNDICE 3

Experimentos	Condições experimentais				Rendimentos (% m/m)			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	VCB	VCA	Char	Gás
1	500	5	0,03	0	1,53	0,68	22,34	75,45
2	500	5	0,76	0	2,53	7,22	21,14	69,11
3	500	35	0,76	2	0,91	33,4	24,71	40,98
4	700	35	0,03	2	8,41	34,07	24,14	33,38
5	700	5	0,76	2	7,37	51,71	10,54	30,38
6	700	35	0,76	0	10,48	26,78	23,95	38,79
7	700	5	0,03	0	1,32	3,15	20,79	74,74
8	700	35	0,03	0	0,10	36,48	26,12	37,30
9	500	35	0,76	0	1,79	41,26	21,80	35,15
10 (C)	600	20	0,44	1	6,56	40,46	23,32	29,66
11	700	5	0,03	0	0,36	4,43	20,83	74,38
12	700	35	0,03	2	8,63	41,27	18,42	31,68
13	500	35	0,03	0	4,93	39,31	22,07	33,69
14	500	5	0,76	2	0,34	36,67	28,79	34,20
15	700	35	0,76	2	15,01	36,67	20,29	28,03
16	700	5	0,76	0	2,35	27,98	26,36	43,31
17	500	35	0,76	2	0,73	28,83	19,11	51,33
18	500	5	0,03	0	8,01	3,53	27,26	61,20
19	500	5	0,03	2	3,69	18,44	33,65	44,22
20	700	5	0,03	2	5,45	42,93	22,44	29,18
21	500	35	0,03	2	3,45	25,76	23,56	47,23
22	500	35	0,03	2	3,34	23,96	31,36	41,34
23	500	35	0,76	0	3,88	43,28	19,98	32,86
24	700	35	0,76	2	5,7	36,14	19,45	38,71
25	500	5	0,76	2	0,98	45,85	23,03	30,13
26	700	5	0,76	2	0,76	24,05	11,81	63,38
27	500	35	0,03	0	3,08	35,47	19,61	41,84
28	500	5	0,76	0	2,82	31,97	22,92	42,29

29 (C)	600	20	0,44	1	4,87	46,92	18,99	29,22
30	700	35	0,03	0	4,87	40,74	22,54	31,85
31	700	5	0,03	2	1,87	48,11	19,95	30,07
32	700	35	0,76	0	4,77	47,06	20,63	27,54
33	500	5	0,03	2	2,92	4,87	20,43	71,78
34	700	5	0,76	0	2,64	24,42	23,76	49,18

X<sub>1</sub>- Temperatura (°C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (°C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS.

CaO/RTS: 0 (ensaios conduzidos na ausência de CaO e com alimentação inicial de 50 g de RTS)

CaO/RTS: 1 (ensaios conduzidos com alimentação inicial de 25 g de CaO e 50 g de RTS; razão mássica de 1:2)

CaO/RTS: 2 (ensaios conduzidos com alimentação inicial de 100 g de CaO e 50 g de RTS; razão mássica 4:2).

## APÊNDICE 4

Experimentos	Condições experimentais				Poder calorífico do gás não- condensável (MJ/Nm <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>	Poder calorífico do VCB (MJ/kg) <sup>b</sup>	Poder calorífico do VCA (MJ/kg) <sup>b</sup>	Poder calorífico do <i>char</i> (MJ/kg) <sup>c</sup>
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>				
1	500	5	0,03	0	11,52	28,27	16,83	19,61
2	500	5	0,76	0	17,33	31,63	34,94	16,43
3	500	35	0,76	2	14,13	33,53	32,65	3,21
4	700	35	0,03	2	20,05	31,94	27,86	9,77
5	700	5	0,76	2	15,92	33,94	31,99	4,58
6	700	35	0,76	0	13,08	30,49	29,81	18,00
7	700	5	0,03	0	13,35	33,75	34,96	19,98
8	700	35	0,03	0	21,16	29,81	30,10	11,55
9	500	35	0,76	0	24,66	32,74	32,46	15,09
10 (C)	600	20	0,44	1	24,19	33,69	29,27	5,54
11	700	5	0,03	0	15,05	33,75	34,96	16,55
12	700	35	0,03	2	19,20	32,81	32,15	2,85
13	500	35	0,03	0	14,26	22,40	32,38	12,83
14	500	5	0,76	2	21,51	31,82	33,65	1,94
15	700	35	0,76	2	16,37	33,14	29,05	6,19
16	700	5	0,76	0	15,64	32,52	28,67	17,13
17	500	35	0,76	2	36,67	32,79	23,04	2,82
18	500	5	0,03	0	14,74	28,27	16,83	16,89
19	500	5	0,03	2	15,58	31,58	28,19	2,71
20	700	5	0,03	2	20,20	19,29	29,93	1,26
21	500	35	0,03	2	16,73	25,05	30,86	2,32
22	500	35	0,03	2	22,12	25,05	29,32	4,53
23	500	35	0,76	0	23,21	32,74	30,14	13,81
24	700	35	0,76	2	22,37	33,14	33,14	2,52
25	500	5	0,76	2	29,93	31,82	27,75	5,95
26	700	5	0,76	2	33,01	33,94	25,49	1,875

27	500	35	0,03	0	9,51	22,40	24,87	15,32
28	500	5	0,76	0	17,9	31,63	28,24	19,67
29 (C)	600	20	0,44	1	23,64	33,69	26,85	4,51
30	700	35	0,03	0	17,58	29,81	26,13	17,62
31	700	5	0,03	2	20,30	14,13	27,07	1,28
32	700	35	0,76	0	21,01	30,49	25,55	18,97
33	500	5	0,03	2	15,69	31,58	28,19	2,445
34	700	5	0,76	0	19,24	32,52	29,79	14,74

X<sub>1</sub>- Temperatura (°C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (°C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS.

CaO/RTS: 0 (ensaio conduzido na ausência de CaO e com alimentação inicial de 50 g de RTS)

CaO/RTS: 1 (ensaio conduzido com alimentação inicial de 25 g de CaO e 50 g de RTS; razão mássica de 1:2)

CaO/RTS: 2 (ensaio conduzido com alimentação inicial de 100 g de CaO e 50 g de RTS; razão mássica 4:2).

<sup>a</sup> calculado a partir dos resultados de cromatografia gasosa.

<sup>b</sup> calculado através dos resultados da análise elementar.

<sup>c</sup> obtido em bomba calorimétrica.

## APÊNDICE 5

ENSAIO 1	03/03/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	11,45	-	-	-	88,54	-	-	-	-	-	-	-	-
		450	0	16,03	-	-	-	-	-	15,54	15,54	18,65	15,54	18,65	-	-
		500	0	2,02	-	-	-	94,38	0,65	0,65	0,65	-	0,65	0,97	-	-
		500	15	0,99	-	-	-	99,00	-	-	-	-	-	-	-	-
		500	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Valores Médios			7,63	-	-	70,48	0,16	4,05	4,05	4,66	4,05	4,91	-	-

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 2	23/02/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	52,75	-	-	-	-	6,27	5,63	7,06	5,42	7,34	7,98	7,55	-
		450	0	68,80	-	-	-	28,61	0,77	0,29	0,38	0,29	0,38	0,48	-	-
		500	0	49,87	-	-	25,86	22,18	0,70	0,30	0,38	0,16	0,19	0,21	0,16	-
		500	15	59,63	-	-	9,77	16,67	1,76	2,76	6,33	0,36	0,50	0,72	1,49	-
		500	30	45,11	-	-	-	42,26	1,71	1,28	2,30	1,11	1,19	1,71	3,33	-
		Valores médios			55,23	-	7,13	21,94	2,24	2,05	3,29	1,47	1,92	2,22	2,51	-

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 3	10/03/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	4,52	-	-	95,14	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-
		450	0	47,70	10,37	16,94	24,51	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-
		500	0	45,30	-	14,24	25,02	7,47	1,61	6,06	0,07	0,06	0,07	0,10	-	
		500	15	24,55	-	3,79	56,05	2,40	2,65	8,63	-	0,10	0,39	1,44	-	
		500	30	17,48	-	29,83	51,04	0,48	0,10	0,23	-	0,03	0,18	0,63	-	
		Valores médios			27,91	2,07	12,96	50,35	2,23	0,87	2,98	0,01	0,04	0,13	0,43	-

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 4	07/03/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*
		400	0	79,87	-	-	-	2,52	2,52	3,77	2,52	3,77	5,03	-	-
		500	0	81,38	-	-	-	3,72	3,72	3,72	-	3,72	3,72	-	-
		600	0	70,46	19,58	8,13	1,15	0,65	0,01	0,01	-	-	-	-	-
		700	0	67,12	2,35	23,73	3,92	2,63	0,06	0,19	-	-	-	-	-
		700	15	63,69	3,88	22,99	3,89	4,68	0,16	0,70	-	-	-	-	-
		700	30	58,83	7,85	23,60	2,20	5,32	0,36	1,84	-	-	-	-	-
Valores médios			70,22	5,61	13,08	1,86	3,25	1,14	1,71	0,42	1,25	1,46	-	-	

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 5	14/03/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	93,28	-	6,30	-	0,21	-	-	-	-	0,17	0,04	-	-
		500	0	66,91	-	26,99	-	0,74	0,18	0,39	-	-	-	-	4,79	-
		600	0	75,39	-	10,40	8,41	0,74	1,01	2,73	0,05	0,11	0,19	0,30	0,66	
		700	0	55,85	34,62	2,52	4,55	0,24	0,34	1,06	-	0,03	0,16	0,62	-	
		700	15	55,12	28,94	9,44	4,75	0,53	0,12	0,35	-	-	0,16	0,59	-	
		700	30	46,47	25,40	9,16	17,41	0,67	0,08	0,38	-	-	0,08	0,34	-	
		Valores médios			65,50	14,83	10,80	5,85	0,52	0,29	0,82	0,01	0,05	0,11	1,11	0,11

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 6	15/02/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		500	0	-	-	-	99,65	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-
		600	0	13,87	42,23	31,00	12,69	0,02	-	0,19	-	-	-	-	-	-
		700	0	24,02	15,00	49,23	10,98	0,74	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-
		700	15	61,47	4,21	23,16	6,91	4,08	0,05	0,13	-	-	-	-	-	-
		700	30	98,42	-	-	-	0,68	-	-	-	-	0,45	0,45	-	-
		Valores médios			32,96	10,24	17,23	21,71	0,98	0,01	0,06	-	-	0,08	0,08	-

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.



ENSAIO 7	16/03/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*
		400	0	5,20	-	-	92,19	0,35	0,38	0,35	0,35	0,38	0,48	0,30	-
		500	0	46,55	-	-	-	-	13,94	13,94	11,62	-	13,94	-	-
		600	0	0,17	-	-	99,05	0,11	0,17	0,11	0,39	-	-	-	-
		700	0	31,78	-	-	67,32	0,13	0,13	0,13	0,51	-	-	-	-
		700	15	75,95	6,22	12,96	4,43	0,43	-	0,01	-	-	-	-	-
		700	30	58,55	9,58	21,84	9,37	0,65	-	-	-	-	-	-	-
		Valores médios			36,37	2,63	5,80	45,39	0,28	2,44	2,42	2,15	0,06	2,40	0,05

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 8	21/03/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		500	0	20,40	37,27	3,33	38,73	0,27	-	-	-	-	-	-	-	-
		600	0	34,34	9,77	26,08	24,17	5,05	0,15	0,42	0,01	-	-	-	-	
		700	0	38,25	5,49	32,14	15,18	7,26	0,36	1,30	0,01	-	-	-	-	
		700	15	5,35	17,71	23,80	24,72	10,88	3,09	14,37	0,04	0,03	-	-	-	
		700	30	58,18	5,18	12,89	11,19	2,14	1,71	8,56	-	0,03	=	0,12	-	
		Valores médios			42,75	12,57	16,37	19,00	4,27	0,89	4,11	0,01	0,01	-	0,02	-

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 9	29/02/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		450	0	16,43	82,24	-	-	0,26	0,13	0,20	-	0,20	0,26	0,26	-	
		500	0	51,38	29,90	13,43	5,29	-	-	-	-	-	-	-	-	
		500	15	29,73	-	22,59	14,36	10,17	5,35	17,80	-	-	-	-	-	
		500	30	63,23	-	-	-	2,42	6,94	25,99	-	0,17	0,33	0,92	-	
		Valores médios			52,15	22,43	7,20	3,93	2,57	2,48	8,80	-	0,07	0,12	0,24	-

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 10	22/03/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*
		400	0	32,59	-	-	21,97	5,76	6,75	6,42	5,60	7,00	7,74	6,17	-
		500	0	63,25	10,14	11,68	5,42	8,10	0,33	0,95	0,13	-	-	-	-
		600	0	73,69	-	12,55	2,32	8,24	0,66	2,56	-	-	-	-	-
		600	15	58,07	2,00	3,42	6,58	3,44	3,85	21,92	-	0,06	0,11	0,56	-
		600	30	79,44	12,00	-	-	0,42	0,88	5,24	-	-	0,33	1,69	-
		Valores médios			61,41	4,83	5,53	7,26	5,19	2,49	7,42	1,15	1,41	1,63	1,68

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (600 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (20 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,44 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 1:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 11	21/03/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	6,34	20,60	-	72,95	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-
		500	0	86,61	0,46	4,09	8,82	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-
		600	0	77,26	1,23	9,06	9,70	2,27	0,17	0,32	-	-	-	-	-	-
		700	0	41,94	7,91	19,07	16,87	7,67	2,16	4,38	-	-	-	-	-	-
		700	15	83,40	3,86	8,48	4,00	0,12	0,05	0,08	-	-	-	-	-	-
		700	30	66,19	4,78	20,33	7,15	1,05	0,15	0,35	-	-	-	-	-	-
		Valores médios			60,29	6,47	10,17	19,91	1,87	0,42	0,86	-	-	-	-	-

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 12	30/03/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		500	0	30,61	-	-	68,90	0,49	-	-	-	-	-	-	-	-
		600	0	65,73	3,44	20,92	2,63	6,37	0,13	0,66	0,01	-	-	-	-	-
		700	0	58,34	1,86	25,80	4,37	7,11	0,32	2,21	-	-	-	-	-	-
		700	15	47,71	21,29	5,21	9,88	6,00	1,09	8,82	-	-	-	-	-	-
		700	30	31,85	27,25	5,31	16,63	1,62	1,77	15,29	-	0,03	-	-	0,25	-
		Valores médios			55,71	8,97	9,54	17,07	3,60	0,55	4,50	-	-	-	-	0,06

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 13	13/04/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	9,49	-	-	90,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		450	0	4,76	-	-	94,54	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-
		500	0	13,01	39,81	5,60	41,10	3,88	-	0,31	-	-	-	-	-	-
		500	15	38,62	3,77	16,21	34,12	20,71	0,68	0,20	0,18	0,01	-	-	-	
		500	30	42,60	0,96	10,58	30,33	21,51	1,42	4,48	0,15	0,04	-	-	-	
		Valores médios			21,70	8,91	6,48	58,12	9,23	0,42	1,00	0,07	0,01	-	-	-

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\*Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 14	02/05/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	57,68	-	17,66	22,63	1,36	0,15	0,53	-	-	-	-	-	-
		500	0	35,67	-	44,34	-	11,51	1,95	5,57	-	0,19	0,19	0,32	0,28	
		500	15	93,69	-	-	-	1,08	1,38	2,77	-	0,15	-	0,31	0,62	
		500	30	89,76	-	-	-	0,83	1,38	3,18	-	0,28	-	1,11	3,46	
		Valores médios			69,20	-	15,50	5,66	3,69	1,22	3,01	-	0,15	0,05	0,43	1,09

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\*Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

NSAIO 15	19/04/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	85,17	14,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		500	0	67,70	9,99	14,41	3,85	3,32	0,17	0,56	-	-	-	-	-	-
		600	0	78,29	1,55	14,88	-	3,57	0,28	1,43	0,01	-	-	-	-	-
		700	0	49,76	26,29	4,19	10,35	1,39	0,73	6,65	0,03	0,03	0,06	0,52	-	
		700	15	44,28	34,01	6,14	12,06	0,84	0,17	1,30	-	0,02	0,10	1,08	-	
		700	30	40,57	26,08	6,89	17,54	1,01	0,19	1,30	-	-	0,06	6,35	-	
		Valores médios			60,96	18,79	7,75	7,30	1,69	0,26	1,87	0,01	0,01	0,04	1,32	-

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 16	25/04/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	16,99	-	-	83,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		500	0	62,27	-	14,18	8,61	8,13	1,98	4,66	-	-	-	-	-	0,17
		600	0	72,40	-	7,92	15,51	1,45	0,63	1,38	-	-	-	-	0,15	0,55
		700	0	69,94	8,25	12,96	8,17	0,19	-	0,26	-	-	-	-	-	0,23
		700	15	79,46	3,57	12,28	-	2,65	0,26	1,16	-	-	-	-	0,16	0,46
		700	30	81,48	3,23	15,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Valores médios			63,76	2,51	10,44	19,22	2,07	0,48	1,24	-	-	-	-	0,05

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 17	13/07/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	10,45	-	15,78	73,75	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-
		450	0	44,23	9,22	-	43,55	2,58	0,10	0,32	-	-	-	-	-	-
		500	0	35,45	-	30,68	-	17,19	2,89	13,78	-	-	-	-	-	-
		500	15	36,28	-	-	-	13,06	8,83	40,22	-	0,12	0,35	1,15	-	
		500	30	16,81	-	-	-	7,47	11,10	48,86	-	0,41	2,12	13,23	-	
		Valores médios			28,64	1,84	9,29	23,46	8,07	4,58	20,64	-	0,11	0,50	2,87	-

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 18	11/04/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		450	0	27,46	7,44	7,63	57,41	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-
		500	0	93,18	-	-	-	6,82	-	-	-	-	-	-	-	-
		500	15	92,81	-	-	-	6,53	0,20	0,46	-	-	-	-	-	
		500	30	51,21	-	10,82	26,11	8,80	0,86	2,20	-	-	-	-	-	
		Valores médios			72,93	1,49	3,69	16,70	4,44	0,21	0,53	-	-	-	-	-

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 19	09/05/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*
		400	0	16,32	31,81	-	50,68	0,05	0,16	0,16	-	0,16	0,36	0,31	-
		450	0	36,16	28,08	9,61	24,67	1,39	-	-	-	-	0,08	-	-
		500	0	48,97	6,09	6,09	36,63	1,75	0,36	0,11	-	-	-	-	-
		500	15	54,30	4,08	29,62	7,86	4,00	0,04	0,10	-	-	-	-	-
		500	30	59,17	1,18	27,66	2,61	8,82	0,15	0,41	-	-	-	-	-
		Valores médios			42,98	14,25	14,60	24,49	3,20	0,14	0,16	-	0,03	0,09	0,06

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 20	11/05/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*
		400	0	27,39	36,87	0,70	33,47	0,11	0,11	0,11	-	0,22	0,56	0,45	-
		500	0	76,51	8,96	9,23	4,41	0,86	-	0,03	-	-	-	-	-
		600	0	63,85	2,64	23,88	2,37	6,83	0,10	0,30	0,04	-	-	-	-
		700	0	77,58	1,12	8,42	2,40	7,27	0,79	2,39	0,02	-	-	-	-
		700	15	48,00	17,70	19,05	2,08	7,28	1,21	4,63	0,02	0,01	0,01	0,02	-
		700	30	46,12	17,81	19,11	3,69	6,89	1,11	5,18	0,02	0,01	0,01	0,06	-
Valores médios			56,58	14,18	13,40	8,07	4,87	0,55	2,11	0,02	0,04	0,10	0,09	-	

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 21	04/05/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*
		400	0	5,65	-	-	90,44	0,33	0,33	0,49	0,33	0,33	0,49	0,82	0,82
		450	0	1,45	-	-	93,07	0,38	0,57	0,57	0,38	0,75	0,94	0,94	0,94
		500	0	38,19	28,57	25,91	6,72	0,61	-	-	-	-	-	-	-
		500	15	51,13	4,50	28,47	2,59	12,44	0,20	0,67	-	-	-	-	-
		500	30	29,06	-	67,70	-	2,85	0,10	0,29	-	-	-	-	-
		Valores médios			25,10	6,61	24,42	38,56	3,32	0,24	0,40	0,14	0,22	0,29	0,35

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 22	16/05/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	24,99	-	33,12	41,89	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		450	0	40,55	-	59,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		500	0	23,94	25,41	25,41	24,85	0,26	0,07	0,07	-	-	-	-	-	-
		500	15	53,96	8,19	29,37	3,60	4,72	0,04	0,12	-	-	-	-	-	-
		500	30	56,13	0,04	19,35	9,30	13,20	0,39	1,53	0,06	-	-	-	-	-
		Valores médios			39,91	6,73	33,34	15,93	3,64	0,10	0,34	0,01	-	-	-	-

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.



ENSAIO 23	19/05/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	10,34	25,99	-	63,10	0,19	-	-	0,38	-	-	-	-	-
		450	0	10,05	27,84	-	61,53	0,47	0,02	0,06	0,02	-	-	-	-	-
		500	0	32,07	12,28	12,28	23,76	11,30	1,62	6,60	0,09	-	-	-	-	-
		500	15	45,23	-	-	-	4,36	8,95	36,72	0,86	-	0,62	3,27	-	-
		500	30	65,93	-	-	-	3,75	3,75	13,38	1,61	-	-	11,59	-	-
		Valores médios			32,72	13,22	2,46	29,68	4,01	2,87	11,35	0,59	-	0,12	2,97	-

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 24	29/06/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	0,13	0,36	-	1,25	14,36	14,04	14,22	14,19	13,73	13,87	13,85	-	-
		500	0	21,72	48,87	17,12	11,80	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-
		600	0	57,39	5,12	26,01	-	8,70	0,36	2,42	-	-	-	-	-	-
		700	0	36,20	6,21	27,94	16,38	7,93	0,77	4,56	-	-	-	-	-	-
		700	15	0,97	75,09	-	22,84	0,23	0,18	0,68	-	-	-	-	-	-
		700	30	9,33	57,12	-	33,47	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-
Valores médios			20,96	32,13	11,84	14,29	5,30	2,56	3,65	2,36	2,29	2,31	2,31	-	-	

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 25	08/06/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*
		400	0	62,61	8,54	8,84	8,19	3,40	1,12	2,20	0,65	1,10	1,83	1,52	-
		450	0	48,57	5,01	25,81	7,27	6,95	1,55	4,46	0,12	0,12	0,16	-	-
		500	0	52,99	2,14	36,02	-	3,39	1,56	3,29	-	0,13	0,25	0,23	-
		500	15	22,42	-	29,63	-	12,45	8,25	21,72	-	0,31	1,22	4,01	-
		500	30	63,02	-	23,61	-	1,98	1,57	3,95	-	0,20	1,36	4,30	-
		Valores médios			49,92	3,14	24,78	3,09	5,63	2,81	7,12	0,15	0,37	0,97	2,01

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 26	20/07/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*
		400	0	74,24	12,83	-	-	7,73	1,12	4,07	-	-	-	-	-
		500	0	31,32	-	10,71	-	28,54	6,06	23,37	-	-	-	-	-
		600	0	43,98	0,09	8,60	-	11,20	6,33	25,71	-	0,12	-	3,96	-
		700	0	35,48	47,71	-	-	4,96	0,93	8,40	-	0,05	0,55	1,93	-
		700	30	31,60	56,13	-	-	1,45	0,25	7,06	-	-	0,56	2,96	-
Valores médios			43,33	23,35	3,86	-	10,78	2,94	13,72	-	0,04	0,22	1,77	-	

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 27	13/06/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		450	0	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		500	0	1,29	-	46,90	51,46	0,15	0,06	0,03	-	-	0,06	0,06	-	-
		500	15	57,56	-	12,12	28,72	1,02	0,26	0,33	-	-	-	-	-	-
		500	30	95,76	-	-	-	4,12	0,03	0,09	-	-	-	-	-	-
		Valores médios			30,92	-	11,80	36,03	1,06	0,07	0,09	-	-	0,01	0,01	-

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 28	08/06/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	39,18	14,30	-	45,16	0,25	0,08	0,17	0,17	0,17	0,17	0,25	0,25	-
		450	0	68,67	-	22,55	-	4,89	0,84	2,23	0,10	0,16	0,16	0,26	0,29	-
		500	0	84,79	-	7,68	-	4,12	0,91	2,44	-	-	-	0,02	0,05	-
		500	15	81,49	1,83	8,04	-	3,41	1,36	3,68	-	-	-	0,06	0,13	-
		500	30	87,33	-	9,86	-	0,93	0,57	1,22	-	-	0,02	0,02	0,07	-
		Valores médios			72,29	3,23	9,63	9,03	2,72	0,75	1,95	0,05	0,05	0,07	0,12	0,16

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 29	15/06/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*
		400	0	87,95	-	-	-	0,63	1,27	1,27	0,63	1,90	3,17	3,17	-
		500	0	42,63	29,71	7,69	18,57	0,99	0,06	0,12	-	0,06	0,09	0,08	-
		600	0	54,52	2,34	25,88	4,43	10,16	0,56	2,05	0,06	-	-	-	-
		600	15	52,33	3,09	7,43	7,43	5,95	3,69	19,75	0,04	-	0,05	0,25	-
		600	30	66,10	4,83	12,81	-	3,31	1,62	10,51	-	0,06	0,13	0,64	-
		Valores médios			60,71	7,99	10,76	6,09	4,21	1,44	6,74	0,15	0,40	0,69	0,83

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (600 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (20 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,44 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 1:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 30	20/06/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*
		400	0	93,92	-	-	-	0,36	0,72	0,72	0,36	1,07	1,43	1,43	-
		500	0	99,54	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23	0,23	-
		600	0	13,59	34,03	9,95	41,99	0,42	0,01	0,02	-	-	-	-	-
		700	0	32,16	13,17	22,32	28,66	3,48	0,06	0,16	-	-	-	-	-
		700	15	45,15	7,72	17,51	14,32	10,94	0,77	3,55	0,05	-	-	-	-
		700	30	43,03	5,61	40,79	6,11	1,71	0,52	2,23	-	-	-	-	-
Valores médios			54,56	10,09	15,09	15,18	2,82	0,34	1,11	0,07	0,18	0,28	0,28	-	

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 31	22/06/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*
		400	0	34,45	39,43	-	25,59	0,05	0,05	0,08	-	0,08	0,13	0,13	-
		500	0	65,94	3,41	15,39	10,44	4,44	0,10	0,29	-	-	-	-	-
		600	0	47,54	-	33,20	14,09	4,65	0,14	0,38	-	-	-	-	-
		700	0	55,47	-	30,32	3,12	8,99	0,54	1,55	-	-	-	-	-
		700	15	50,83	21,86	14,60	2,32	6,21	1,01	3,18	-	-	-	-	-
		700	30	39,14	35,15	18,30	3,01	2,12	0,58	1,71	-	-	-	-	-
		Valores médios			48,90	16,64	18,63	9,76	4,41	0,40	1,20	-	0,01	0,02	0,02

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 32	27/06/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*	
		400	0	11,27	-	-	88,73	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		500	0	2,95	2,10	1,31	7,63	12,81	12,17	12,54	12,86	11,79	11,83	12,00	-	
		600	0	53,89	4,08	16,28	13,45	9,78	0,50	2,02	-	-	-	-	-	
		700	0	59,96	4,56	11,10	9,38	8,63	1,25	5,12	-	-	-	-	-	
		700	15	56,13	6,36	8,48	15,44	2,18	1,50	8,75	-	-	-	1,16	-	
		700	30	59,63	-	10,66	26,32	1,08	0,28	1,19	-	-	-	0,84	-	
		Valores médios			40,64	2,85	7,97	26,82	5,75	2,62	4,94	2,14	1,97	1,97	2,33	-

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (35 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 33	19/07/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*
		400	0	33,98	58,36	-	-	0,45	0,68	0,90	1,58	1,13	1,35	1,58	-
		450	0	49,28	35,32	2,51	12,87	0,02	-	-	-	-	-	-	-
		500	0	54,51	28,39	12,98	3,97	0,16	-	-	-	-	-	-	-
		500	15	74,31	5,12	16,01	2,24	2,28	-	0,03	-	-	-	-	-
		500	30	74,94	2,23	21,59	1,24	-	-	-	-	-	-	-	-
		Valores médios			57,40	25,88	10,62	4,06	0,58	0,14	0,19	0,32	0,23	0,27	0,32

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (500 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,03 L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS 4:2.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

ENSAIO 34	26/07/2016	Temperatura da coleta (°C)	Tempo de coleta (min)	H <sub>2</sub> *	CO*	CH <sub>4</sub> *	CO <sub>2</sub> *	Etano*	Propano*	Propeno*	Acetileno*	Propadieno*	N-Butano*	Isobutano*	Isobuteno*
		400	0	25,70	10,04	-	57,30	3,88	0,50	1,69	0,40	0,20	0,30	-	-
		500	0	64,83	9,79	-	-	14,07	2,80	8,15	-	0,09	0,26	-	-
		600	0	66,42	19,06	-	-	1,95	2,72	8,51	-	0,15	0,33	0,86	-
		700	0	68,66	21,03	2,40	-	1,51	0,33	3,52	-	0,10	0,58	1,86	-
		700	15	77,87	8,57	-	-	1,19	0,22	7,44	-	0,09	1,10	3,52	-
		700	30	80,50	7,52	-	-	0,77	0,18	6,38	-	-	1,00	3,66	-
Valores médios			64,00	12,67	0,40	9,55	3,89	1,12	5,95	0,07	0,11	0,60	1,65	-	

Condições experimentais: X<sub>1</sub>- Temperatura (700 °C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (5 °C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (0,76 L/min); X<sub>4</sub>- Sem CaO.

\* Resultados expressos em % (mol/mol) e em base livre de N<sub>2</sub>.

## APÊNDICE 6

Experimentos	Condições experimentais				Características do <i>char</i>		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de carbono fixo (%)
1	500	5	0,03	0	13,58	31,26	55,16
2	500	5	0,76	0	12,61	22,32	65,07
3	500	35	0,76	2	16,58	75,47	7,95
4	700	35	0,03	2	16,03	74,71	9,26
5	700	5	0,76	2	13,32	78,24	8,44
6	700	35	0,76	0	10,66	34,73	54,61
7	700	5	0,03	0	9,39	28,35	62,26
8	700	35	0,03	0	8,77	40,43	50,80
9	500	35	0,76	0	13,77	40,99	45,24
10 (C)	600	20	0,44	1	25,24	64,06	10,70
11	700	5	0,03	0	10,64	41,98	47,38
12	700	35	0,03	2	12,75	78,48	8,77
13	500	35	0,03	0	14,80	40,15	45,05
14	500	5	0,76	2	18,04	73,33	8,63
15	700	35	0,76	2	14,10	75,68	10,22
16	700	5	0,76	0	9,70	45,14	45,16
17	500	35	0,76	2	15,18	81,55	3,27
18	500	5	0,03	0	13,99	28,48	57,53
19	500	5	0,03	2	16,70	73,05	10,25
20	700	5	0,03	2	15,20	75,10	9,70
21	500	35	0,03	2	18,75	71,92	9,33
22	500	35	0,03	2	18,83	73,30	7,87
23	500	35	0,76	0	14,13	32,83	53,04
24	700	35	0,76	2	11,62	78,95	9,43
25	500	5	0,76	2	18,54	71,58	10,00

26	700	5	0,76	2	7,62	83,99	8,39
27	500	35	0,03	0	14,78	43,12	42,10
28	500	5	0,76	0	12,97	26,07	60,96
29 (C)	600	20	0,44	1	19,35	68,60	12,05
30	700	35	0,03	0	8,38	34,20	57,42
31	700	5	0,03	2	17,65	73,52	8,83
32	700	35	0,76	0	9,12	34,93	55,95
33	500	5	0,03	2	19,42	69,66	10,92
34	700	5	0,76	0	8,54	41,31	50,15

X<sub>1</sub>- Temperatura (°C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (°C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS.

CaO/RTS: 0 (ensaio conduzido na ausência de CaO e com alimentação inicial de 50 g de RTS)

CaO/RTS: 1 (ensaio conduzido com alimentação inicial de 25 g de CaO e 50 g de RTS; razão mássica de 1:2)

CaO/RTS: 2 (ensaio conduzido com alimentação inicial de 100 g de CaO e 50 g de RTS; razão mássica 4:2).



## APÊNDICE 7

Experimentos	Condições experimentais				Características do <i>char</i>
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Retenção de cloro no <i>char</i> (% massa)
1	500	5	0,03	0	45,42
2	500	5	0,76	0	33,47
3	500	35	0,76	2	34,91
4	700	35	0,03	2	39,00
5	700	5	0,76	2	32,67
6	700	35	0,76	0	46,11
7	700	5	0,03	0	41,17
8	700	35	0,03	0	32,17
9	500	35	0,76	0	26,78
10 (C)	600	20	0,44	1	22,76
11	700	5	0,03	0	37,32
12	700	35	0,03	2	48,00
13	500	35	0,03	0	32,63
14	500	5	0,76	2	50,12
15	700	35	0,76	2	38,26
16	700	5	0,76	0	26,94
17	500	35	0,76	2	54,31
18	500	5	0,03	0	41,88
19	500	5	0,03	2	56,04
20	700	5	0,03	2	43,84
21	500	35	0,03	2	78,27
22	500	35	0,03	2	43,42
23	500	35	0,76	0	30,24
24	700	35	0,76	2	36,04
25	500	5	0,76	2	40,27

26	700	5	0,76	2	36,55
27	500	35	0,03	0	24,22
28	500	5	0,76	0	28,59
29 (C)	600	20	0,44	1	34,14
30	700	35	0,03	0	33,57
31	700	5	0,03	2	40,09
32	700	35	0,76	0	28,96
33	500	5	0,03	2	64,62
34	700	5	0,76	0	31,84

X<sub>1</sub>- Temperatura (°C); X<sub>2</sub>- Taxa de aquecimento (°C/min); X<sub>3</sub>- Vazão de N<sub>2</sub> (L/min); X<sub>4</sub>- Razão CaO/RTS.

CaO/RTS: 0 (ensaio conduzido na ausência de CaO e com alimentação inicial de 50 g de RTS)

CaO/RTS: 1 (ensaio conduzido com alimentação inicial de 25 g de CaO e 50 g de RTS; razão mássica de 1:2)

CaO/RTS: 2 (ensaio conduzido com alimentação inicial de 100 g de CaO e 50 g de RTS; razão mássica 4:2).

## APÊNDICE 8

Experimentos	Condições experimentais				Retenção de metais no <i>char</i> (% massa)								
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Al	Pb	Co	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Zn
1	500	5	0,03	0	79,95	100,00	32,87	7,43	2,49	20,75	20,57	4,25	55,68
2	500	5	0,76	0	99,41	100,00	23,85	2,95	2,36	12,01	15,98	2,47	49,47
3	500	35	0,76	2	94,08	10,12	25,78	0,90	1,37	9,54	90,28	1,36	33,42
4	700	35	0,03	2	100,00	9,46	32,08	0,70	1,49	17,70	85,40	1,37	25,98
5	700	5	0,76	2	100,00	38,87	24,21	0,65	1,33	10,47	94,07	1,28	37,94
6	700	35	0,76	0	0,06	100,00	24,53	1,70	4,41	7,49	12,16	4,86	34,74
7	700	5	0,03	0	43,27	44,72	23,61	4,63	1,20	0,01	12,73	3,83	33,07
8	700	35	0,03	0	66,56	89,01	57,78	4,14	1,97	13,10	21,61	4,60	70,66
9	500	35	0,76	0	47,06	100,00	42,20	9,28	14,80	12,21	17,29	7,33	47,01
10 (C)	600	20	0,44	1	52,06	10,08	18,09	0,76	1,14	9,14	17,68	0,70	18,10
11	700	5	0,03	0	85,38	50,12	57,60	1,64	2,50	14,74	20,41	8,96	49,37
12	700	35	0,03	2	100,00	8,51	25,13	0,91	1,24	9,44	41,44	6,47	20,51
13	500	35	0,03	0	97,88	86,25	56,23	3,93	2,97	20,04	24,68	7,72	73,62
14	500	5	0,76	2	98,07	13,78	26,49	1,33	1,67	12,12	79,91	1,95	20,37
15	700	35	0,76	2	100,00	7,03	25,33	0,63	1,15	8,56	70,21	1,34	17,56
16	700	5	0,76	0	74,19	56,43	63,27	5,11	2,32	22,73	24,54	5,52	64,43
17	500	35	0,76	2	94,08	9,59	25,21	0,75	1,23	9,24	42,62	1,33	14,16

18	500	5	0,03	0	100,00	100,00	77,47	4,52	3,54	25,64	28,29	8,39	82,89
19	500	5	0,03	2	95,74	40,05	26,97	0,74	1,41	10,20	46,48	1,43	14,19
20	700	5	0,03	2	98,81	10,27	25,66	0,66	1,57	9,56	77,17	1,36	19,76
21	500	35	0,03	2	100,00	11,02	66,88	0,78	1,63	8,83	80,58	1,36	14,15
22	500	35	0,03	2	100,00	10,88	26,73	0,73	1,31	9,15	43,98	1,41	15,30
23	500	35	0,76	0	82,54	100,00	55,96	2,49	2,27	14,30	15,31	3,90	60,50
24	700	35	0,76	2	100,00	10,84	26,08	0,86	1,71	13,29	44,84	1,34	23,91
25	500	5	0,76	2	98,07	11,90	25,45	0,71	1,30	7,83	43,05	1,35	12,19
26	700	5	0,76	2	100,00	8,03	24,52	0,66	1,37	8,88	44,76	1,30	30,09
27	500	35	0,03	0	72,20	70,08	49,00	2,91	2,43	14,90	18,09	4,73	60,72
28	500	5	0,76	0	99,41	100,00	51,51	4,62	2,34	14,82	17,52	4,45	63,37
29 (C)	600	20	0,44	1	54,33	13,28	20,27	0,74	1,20	7,42	17,02	0,42	22,80
30	700	35	0,03	0	66,56	53,83	65,44	2,41	1,96	11,80	15,45	5,25	43,59
31	700	5	0,03	2	98,81	9,63	25,44	0,50	1,39	7,68	38,48	1,35	14,45
32	700	35	0,76	0	77,51	100,00	50,83	4,18	1,98	15,38	17,51	5,21	77,12
33	500	5	0,03	2	95,74	10,91	25,46	1,04	1,01	6,19	42,89	1,35	14,94
34	700	5	0,76	0	99,15	56,43	65,32	3,97	2,66	22,16	20,78	4,11	58,14

X1- Temperatura (°C); X2- Taxa de aquecimento (°C/min); X3- Vazão de N<sub>2</sub> (L/min); X4- Razão CaO/RTS.

CaO/RTS: 0 (ensaios conduzidos na ausência de CaO e com alimentação inicial de 50 g de RTS)

CaO/RTS: 1 (ensaios conduzidos com alimentação inicial de 25 g de CaO e 50 g de RTS; razão mássica de 1:2)

CaO/RTS: 2 (ensaios conduzidos com alimentação inicial de 100 g de CaO e 50 g de RTS; razão mássica 4:2).

## APÊNDICE 9

<b>Vapor condensado A Ensaio 2</b>			
<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
6,57	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
3,82	Caprolacatam	000105-60-2	95
3,09	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
2,32	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
2,06	Eicosane	000112-95-8	92
1,70	3-Eicosene, (E)-	074685-33-9	93
1,58	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
1,57	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	94
1,53	1-Docosene	001599-67-3	98
1,50	Hexadecane	000544-76-3	95
1,29	1-Docosene	001599-67-3	93
1,21	3-Eicosene, (E)-	074685-33-9	95
1,20	Heneicosane	000629-94-7	98
1,16	Pentafluoropropionic acid, undecyl ester	1000283-04-0	94
1,16	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	97
1,14	Octadecane	000593-45-3	94
1,10	Heptadecane	000629-78-7	96
1,08	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
1,00	Octadecane	000593-45-3	92
0,96	Hexadecane	000544-76-3	95
0,95	Eicosane	000112-95-8	95
0,92	Heptadecanenitrile	005399-02-0	99
0,87	Pentadecane	000629-62-9	96
0,87	1-Nonadecene	018435-45-5	98
0,87	9-Eicosene, (E)-	074685-29-3	91
0,84	1-Octadecene	000112-88-9	95
0,66	3-Tetradecene, (E)-	041446-68-8	94
0,49	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	99
0,48	Tetradecane	000629-59-4	96
0,47	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	95
0,46	Trichloroacetic acid, hexadecyl ester	074339-54-1	93
0,40	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,34	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	95
0,34	Tridecane	000629-50-5	93

<b>Vapor condensado A Ensaio 3</b>			
<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
14,37	Styrene	000100-42-5	96
3,89	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
2,84	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
2,71	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	94
2,37	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
2,27	Ethylbenzene	000100-41-4	94
1,57	Toluene	000108-88-3	81

1,46	1-Docosene	001599-67-3	96
0,89	Nonadecane	000629-92-5	91
0,81	Eicosane	000112-95-8	96
0,77	4-Heptafluorobutyryloxyhexadecane	1000282-97-2	91
0,75	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,74	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	95
0,69	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	99
0,64	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	91
0,63	1-Heptadecene	006765-39-5	97
0,59	Phenol	000108-95-2	91
0,57	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,56	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,55	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98
0,55	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,55	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	98
0,49	3-Tetradecene, (E)-	041446-68-8	97
0,49	Tricyclo[5.2.1.0(2,6)]decane, 3-methylene-4-phenyl-	1000150-37-1	91
0,48	1-Decene	000872-05-9	93
0,48	2-Eicosanol	004340-76-5	94
0,46	Cyclotetracosane	000297-03-0	98
0,45	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,43	Heneicosane	000629-94-7	98
0,42	Octadecane	000593-45-3	95
0,41	D-Limonene	005989-27-5	95
0,41	2-Dodecene, (Z)-	007206-26-0	96
0,41	Tridecane	000629-50-5	95
0,40	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,40	2-Nonadecanone	000629-66-3	90
0,39	Heptadecane	000629-78-7	95
0,38	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,38	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	91
0,37	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-	074663-91-5	91
0,36	Pentadecane	000629-62-9	97
0,36	Heptadecane	000629-78-7	96
0,35	Azulene	000275-51-4	90
0,35	Hexadecane	000544-76-3	95
0,33	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,28	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	94
0,27	Tetradecane	000629-59-4	96
0,27	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	96
0,25	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	97
0,25	Dodecane, 4,6-dimethyl-	061141-72-8	93
0,25	Biphenyl	000092-52-4	95
0,23	Naphthalene, 2-methyl-	000091-57-6	91
0,23	4,7-Dimethyl-1,10-phenanthroline	003248-05-3	91
0,22	Dodecane	000112-40-3	93
0,22	Eicosane	000112-95-8	90
0,21	Benzene, butyl-	000104-51-8	95
0,21	Benzene, (1-ethyl-2-propenyl)-	019947-22-9	96
0,21	1,19-Eicosadiene	014811-95-1	96
0,20	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	96
0,19	1-Nonene	000124-11-8	94
0,19	Undecane	001120-21-4	90
0,19	Benzene, 3-pentenyl-, (Z)-	016487-65-3	90

0,18	Phenol, 2-methyl-	000095-48-7	96
0,16	cis-Stilbene	000645-49-8	96
0,16	11,13-Dimethyl-12-tetradecen-1-olacetate	1000130-81-0	91
0,14	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-,(1.alpha.,3.alpha.,5.alpha.)-	001795-27-3	97
0,14	Benzene, cyclopentyl-	000700-88-9	90
0,13	2-Octene, (Z)-	007642-04-8	90
0,13	Benzene, propyl-	000103-65-1	90
0,13	Benzene, 3-butenyl-	000768-56-9	91
0,13	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	92
0,12	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,2-ethane diyl)bis-	005814-85-7	94
0,10	Phenanthrene, 1-methyl-7-(1-methyl ethyl)-	000483-65-8	98

#### Vapor condensado A Ensaio 4

% da área do cromatograma	Nome do composto	CAS	Faixa de correspondência (%)
12,71	Styrene	000100-42-5	96
2,78	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
2,71	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
2,70	Toluene	000108-88-3	90
2,47	Ethylbenzene	000100-41-4	94
2,12	Caprolactam	000105-60-2	94
1,61	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
0,95	1-Tridecene	002437-56-1	93
0,91	Phenol	000108-95-2	91
0,82	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	95
0,74	1-Docosene	001599-67-3	92
0,69	3-Tetradecene, (E)-	041446-68-8	94
0,66	1-Decene	000872-05-9	93
0,66	Naphthalene	000091-20-3	95
0,64	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	99
0,62	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	97
0,60	1-Nonadecene	018435-45-5	94
0,59	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,59	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,56	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-	074663-91-5	90
0,55	2-Dodecene, (Z)-	007206-26-0	97
0,54	Cyclotetracosane	000297-03-0	99
0,52	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	95
0,52	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,51	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	96
0,49	1-Heptadecene	006765-39-5	98
0,47	Heptane, 3-methylene-	001632-16-2	90
0,47	Biphenyl	000092-52-4	96
0,46	Hexadecanenitrile	000629-79-8	91
0,42	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,41	Tetradecane	000629-59-4	96
0,40	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,39	D-Limonene	005989-27-5	95
0,39	Eicosane	000112-95-8	93
0,36	Pentadecane	000629-62-9	96
0,34	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,34	Phenol, 2-methyl-	000095-48-7	98

0,33	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	95
0,33	Cyclotetracosane	000297-03-0	94
0,32	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-,alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	97
0,31	Tridecane	000629-50-5	91
0,30	1-Nonene	000124-11-8	94
0,30	Benzene, (1-ethyl-2-propenyl)-	019947-22-9	96
0,29	Benzene, butyl-	000104-51-8	94
0,29	Naphthalene, 1-methyl-	000090-12-0	95
0,28	Benzene, propyl-	000103-65-1	91
0,28	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,27	Benzene, 1-ethenyl-2-methyl-	000611-15-4	94
0,27	1H-Indene, 1-methyl-	000767-59-9	96
0,27	Heptadecane	000629-78-7	96
0,26	Indene	000095-13-6	95
0,26	Dodecane	000112-40-3	93
0,25	2-Octene, (E)-	013389-42-9	93
0,25	E-10-Pentadecenol	1000245-48-4	91
0,24	4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl-	000826-36-8	90
0,24	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	96
0,23	p-Xylene	000106-42-3	95
0,22	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	94
0,22	Heneicosane	000629-94-7	98
0,20	1,12-Tridecadiene	021964-48-7	95
0,19	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	001839-63-0	97
0,19	(E)-Stilbene	000103-30-0	98
0,17	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	96
0,16	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	96
0,16	Phenol, 2,6-dimethyl-	000576-26-1	95
0,16	1,19-Eicosadiene	014811-95-1	94
0,11	4,7-Dimethyl-1,10-phenanthroline	003248-05-3	96
0,09	Cyclohexene, 4-methyl-	000591-47-9	94
0,08	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	000611-14-3	93
0,08	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,2-ethane diyl)bis-	005814-85-7	92

<b>Vapor condensado A Ensaio 5</b>			
<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
9,23	Styrene	000100-42-5	96
2,51	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	95
2,14	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
1,85	Ethylbenzene	000100-41-4	91
1,79	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
1,63	Toluene	000108-88-3	76
0,83	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	96
0,73	Eicosane	000112-95-8	97
0,63	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,62	Dichloroacetic acid, tridecyl este	1000280-48-3	94
0,59	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	97
0,55	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	99
0,54	1-Nonadecene	018435-45-5	94
0,52	Nonadecane	000629-92-5	96
0,45	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98



0,43	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,43	Tricyclo[5.2.1.0(2,6)]decane, 3-methylene-4-phenyl-	1000150-37-1	91
0,43	Cyclotetracosane	000297-03-0	97
0,41	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,41	Heptadecane	000629-78-7	95
0,41	Cyclotetracosane	000297-03-0	97
0,40	3-Tetradecene, (E)-	041446-68-8	93
0,39	Tetracosane	000646-31-1	97
0,38	1-Heptadecene	006765-39-5	98
0,37	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-,alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	97
0,37	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,35	Hexadecane, 1-iodo-	000544-77-4	91
0,34	Tridecane	000629-50-5	95
0,34	Heptadecane	000629-78-7	98
0,34	Heneicosane	000629-94-7	98
0,31	Pentadecane	000629-62-9	97
0,30	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,30	Cyclotetracosane	000297-03-0	90
0,28	Phenol	000108-95-2	90
0,28	1-Decene	000872-05-9	93
0,28	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	95
0,26	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	001839-63-0	97
0,26	2-Dodecene, (Z)-	007206-26-0	97
0,25	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	95
0,25	Tetradecane	000629-59-4	96
0,24	Biphenyl	000092-52-4	92
0,20	D-Limonene	005989-27-5	95
0,19	Eicosane	000112-95-8	90
0,16	Phenol, 2-methyl-	000095-48-7	90
0,16	Undecane	001120-21-4	94
0,16	Dodecane	000112-40-3	93
0,15	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	95
0,15	(E)-Stilbene	000103-30-0	98
0,14	1-Heptene, 2-methyl-	015870-10-7	91
0,14	Benzene, butyl-	000104-51-8	95
0,13	1-Nonene	000124-11-8	93
0,13	Phenanthrene, 1-methyl-7-(1-methylethyl)-	000483-65-8	95
0,12	Phenol, 2,6-dimethyl-	000576-26-1	96
0,11	Nonane	000111-84-2	90
0,11	Benzeneacetonitrile, .alpha.-methyl-	001823-91-2	93
0,11	Phenol, 2,4,6-trimethyl-	000527-60-6	90
0,11	1,1':3',1''-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	99
0,10	Benzene, (1-methylenebutyl)-	005676-32-4	95
0,09	Benzene, propyl-	000103-65-1	90
0,09	E-14-Hexadecenal	330207-53-9	95
0,09	Eicosane	000112-95-8	90
0,08	p-Xylene	000106-42-3	90
0,08	6,6-Dimethylhepta-2,4-diene	1000195-03-3	90
0,06	Tetracyclo[3.3.1.0(2,8).0(4,6)]-non-2-ene	1000191-13-7	95
0,06	Cyclohexane, 1,1-dimethyl-2-propyl	081983-71-3	90
0,06	Benzene, 1-methyl-2-(2-propenyl)-	001587-04-8	95
0,04	1,3-Pentadiene, 2,4-dimethyl-	001000-86-8	94

--

Vapor condensado A Ensaio 6			
% da área do cromatograma	Nome do composto	CAS	Faixa de correspondência (%)
9,58	Styrene	000100-42-5	96
2,47	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
2,21	Toluene	000108-88-3	87
2,18	Ethylbenzene	000100-41-4	91
1,90	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
1,71	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
1,59	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
1,02	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	91
0,92	1-Nonadecene	018435-45-5	94
0,80	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,78	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,74	Cyclotetracosane	000297-03-0	97
0,73	Naphthalene	000091-20-3	92
0,72	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	97
0,68	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	95
0,67	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	97
0,65	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	94
0,65	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	96
0,61	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,60	1-Decene	000872-05-9	94
0,60	1-Heptadecene	006765-39-5	98
0,56	2-Dodecene, (Z)-	007206-26-0	97
0,56	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,55	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,53	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	94
0,49	Pentadecane	000629-62-9	96
0,49	Nonadecane	000629-92-5	96
0,49	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	97
0,46	Tridecane	000629-50-5	95
0,43	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	96
0,38	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-,.alpha.,.3.alpha.,.5.beta.)-	001795-26-2	97
0,32	E-11-Hexadecen-1-ol	1000130-89-8	97
0,31	Undecane	001120-21-4	94
0,31	Heptadecane	000629-78-7	98
0,30	1-Nonene	000124-11-8	94
0,30	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,30	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	93
0,29	Dodecane	000112-40-3	95
0,28	1,15-Pentadecanediol	014722-40-8	91
0,28	Heneicosane	000629-94-7	97
0,27	1-Octene	000111-66-0	90
0,27	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	001839-63-0	97
0,27	Tetradecane	000629-59-4	96
0,27	Octadecane	000593-45-3	98
0,27	Tricosane	000638-67-5	94
0,26	Naphthalene, 1-methyl-	000090-12-0	95
0,25	p-Xylene	000106-42-3	97
0,24	Benzene, 1-ethenyl-2-methyl-	000611-15-4	96
0,24	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	96
0,24	1,2-Dihydro-3-phenylnaphthalene	020669-52-7	98

0,24	1,19-Eicosadiene	014811-95-1	94
0,22	Benzene, butyl-	000104-51-8	95
0,22	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	93
0,21	1,3-Pentadiene, 2,3-dimethyl-	001113-56-0	94
0,21	Dodecane, 4,6-dimethyl-	061141-72-8	91
0,21	(E)-Stilbene	000103-30-0	98
0,20	1,21-Docosadiene	053057-53-7	90
0,19	10,11-Dihydro-5H-dibenzo(a,d)cycloheptene	000833-48-7	94
0,19	1,19-Eicosadiene	014811-95-1	97
0,17	Benzene, propyl-	000103-65-1	91
0,17	Benzene, 1-propynyl-	000673-32-5	94
0,16	Nonane	000111-84-2	90
0,16	Heptadecanenitrile	005399-02-0	99
0,15	Phenol, 2,4,6-trimethyl-	000527-60-6	93
0,14	Cyclohexane, methyl-	000108-87-2	90
0,14	Phenol, 2,6-dimethyl-	000576-26-1	95
0,11	1,1':3',1''-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	99
0,10	Cyclohexene, 4-methyl-	000591-47-9	94
0,10	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	96
0,10	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	95
0,07	Cyclohexane, 1-methyl-4-methylene-	002808-80-2	90
0,07	Benzene, 1-methyl-2-(2-propenyl)-	001587-04-8	96
0,06	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	000611-14-3	94
0,06	E-14-Hexadecenal	330207-53-9	93
0,04	Eicosane	000112-95-8	90

### Vapor condensado A Ensaio 8

% da área do cromatograma	Nome do composto	CAS	Faixa de correspondência (%)
12,7	Styrene	000100-42-5	96
2,87	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	94
2,65	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
2,63	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
2,42	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,11	Toluene	000108-88-3	87
1,22	1-Tridecene	002437-56-1	93
1,00	Caprolactam	000105-60-2	94
0,92	1-Dodecene	000112-41-4	96
0,83	1-Nonadecene	018435-45-5	94
0,80	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98
0,79	1-Tetradecanol	000112-72-1	91
0,75	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,74	Benzenecarboxylic acid	000065-85-0	94
0,74	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono (2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,66	1-Decene	000872-05-9	93
0,66	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,65	Phenol	000108-95-2	90
0,65	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,64	1-Heptadecene	006765-39-5	97
0,61	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	94
0,58	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	94
0,56	1-Nonadecene	018435-45-5	99

0,56	Nonadecane	000629-92-5	92
0,56	1-Docosene	001599-67-3	94
0,51	Pentadecane	000629-62-9	96
0,48	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	95
0,47	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	95
0,47	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,38	D-Limonene	005989-27-5	95
0,38	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	95
0,37	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,37	Benzene, 1-ethenyl-2-methyl-	000611-15-4	93
0,37	Heptadecane	000629-78-7	96
0,35	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	99
0,33	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	97
0,33	Cyclotetracosane	000297-03-0	97
0,32	Tridecane	000629-50-5	93
0,31	Naphthalene, 1-methyl-	000090-12-0	95
0,30	Benzene, butyl-	000104-51-8	94
0,30	Dodecane	000112-40-3	93
0,29	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-,alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	97
0,29	Phenol, 2-methyl-	000095-48-7	93
0,29	Tetradecane	000629-59-4	96
0,29	Octadecane	000593-45-3	98
0,28	1-Nonene	000124-11-8	93
0,27	Heneicosane	000629-94-7	97
0,26	10-Heneicosene (c,t)	095008-11-0	93
0,24	Caprolactam	000105-60-2	94
0,24	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	95
0,23	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	96
0,22	Benzene, propyl-	000103-65-1	90
0,22	Undecane	001120-21-4	94
0,22	1,12-Tridecadiene	021964-48-7	95
0,22	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	91
0,22	1,19-Eicosadiene	014811-95-1	99
0,21	2-Octene, (Z)-	007642-04-8	90
0,21	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	001839-63-0	97
0,21	1,19-Eicosadiene	014811-95-1	90
0,21	Octadecane	000593-45-3	95
0,21	Heptadecane	000629-78-7	93
0,20	Oxirane, tetradecyl-	007320-37-8	93
0,20	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	96
0,19	Benzene, (1-methyl-2-cyclopropen-1-yl)-	065051-83-4	90
0,19	(E)-Stilbene	000103-30-0	98
0,19	Heptadecanenitrile	005399-02-0	99
0,18	Benzene, 1,3-dimethyl-	000108-38-3	97
0,18	1-Tricosene	018835-32-0	97
0,17	1,3-Pentadiene, 2,4-dimethyl-	001000-86-8	94
0,17	Heptadecane	000629-78-7	94
0,16	Benzene, cyclopropyl-	000873-49-4	95
0,16	Cycloprop[a]indene, 1,1a,6,6a-tetrahydro-	015677-15-3	94
0,16	Naphthalene, 2-methyl-	000091-57-6	97
0,16	10,11-Dihydro-5H-dibenzo(a,d)cycloheptene	000833-48-7	94
0,16	1,2-Dihydro-3-phenylnaphthalene	020669-52-7	98
0,15	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	96
0,13	1,19-Eicosadiene	014811-95-1	98

0,13	Eicosane	000112-95-8	90
0,12	Heptane	000142-82-5	90
0,11	Indene	000095-13-6	95
0,11	Benzene, (1-methylenebutyl)-	005676-32-4	97
0,09	Cyclobutane, (1-methylethylidene)-	001528-22-9	90
0,09	Tricosane	000638-67-5	96
0,08	Cyclohexane, methyl-	000108-87-2	90
0,07	1-Heptene, 2-methyl-	015870-10-7	91
0,06	Oxirane, hexadecyl-	007390-81-0	95

**Vapor condensado A Ensaio 9**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
18,4	Styrene	000100-42-5	96
6,56	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
3,46	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
3,31	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
3,30	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
3,12	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,39	Toluene	000108-88-3	76
1,11	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,88	Benzene, 1,1'-(1,2-dimethyl-1,2-ethenediyl)bis-, (E)-	000782-06-9	93
0,86	3-Tetradecene, (E)-	041446-68-8	94
0,83	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	99
0,74	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	97
0,69	1-Heptadecene	006765-39-5	97
0,69	Eicosane	000112-95-8	90
0,67	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,62	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,61	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,56	Benzene, 1,1'-(1,2-dimethyl-1,2-ethenediyl)bis-, (E)-	000782-06-9	90
0,54	2-Dodecene, (Z)-	007206-26-0	94
0,51	Heptadecane	000629-78-7	98
0,50	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,50	1-Decene	000872-05-9	94
0,46	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,44	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	95
0,43	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-,.alpha.,.3.alpha.,.5.beta.)-	001795-26-2	97
0,43	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	94
0,43	Nonadecane	000629-92-5	97
0,42	Pentadecane	000629-62-9	97
0,39	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,34	Tridecane	000629-50-5	94
0,34	Tetradecane	000629-59-4	97
0,34	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,32	1-Nonene	000124-11-8	93
0,32	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	95
0,32	Octadecane	000593-45-3	98
0,26	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	001839-63-0	97
0,26	Dodecane	000112-40-3	94
0,24	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	96
0,24	Heneicosane	000629-94-7	97

0,23	Benzene, (3-methyl-3-butenyl)-	006683-51-8	90
0,20	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	98
0,19	Undecane	001120-21-4	94
0,18	Dodecane, 4,6-dimethyl-	061141-72-8	90
0,16	(R)-(-)-(Z)-14-Methyl-8-hexadecen-1-ol	030689-78-2	90
0,15	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	96

**Vapor condensado A Ensaio 10**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
18,97	Styrene	000100-42-5	96
5,89	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
3,40	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
2,80	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,58	Toluene	000108-88-3	87
2,55	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
2,47	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
1,63	Caprolactam	000105-60-2	95
0,86	1-Nonadecene	018435-45-5	91
0,75	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,74	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,73	1-Docosene	001599-67-3	96
0,70	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,68	Eicosane	000112-95-8	96
0,65	Nonadecane	000629-92-5	96
0,61	3-Tetradecene, (E)-	041446-68-8	95
0,61	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98
0,60	1-Decene	000872-05-9	93
0,56	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	95
0,54	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,53	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,53	1-Heptadecene	006765-39-5	99
0,49	D-Limonene	005989-27-5	96
0,45	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	91
0,45	1-Nonadecene	018435-45-5	94
0,40	2-Dodecene, (Z)-	007206-26-0	97
0,40	Eicosane	000112-95-8	90
0,39	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	93
0,39	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,37	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	96
0,36	Heptafluorobutanoic acid, heptadecyl ester	1000282-97-3	91
0,35	Heptadecane	000629-78-7	98
0,33	Tridecane	000629-50-5	93
0,33	Pentadecane	000629-62-9	97
0,32	1-Nonene	000124-11-8	93
0,30	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	95
0,29	Octadecane	000593-45-3	98
0,29	Heneicosane	000629-94-7	98
0,28	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	96
0,27	Octadecane	000593-45-3	95
0,25	Tetradecane	000629-59-4	95

0,25	Docosane	000629-97-0	96
0,24	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.alpha.)-	001795-27-3	97
0,24	Heptadecane	000629-78-7	95
0,22	2-Octene, (Z)-	007642-04-8	90
0,22	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	97
0,22	Cyclotetacosane	000297-03-0	98
0,21	Undecane	001120-21-4	94
0,21	Benzene, (3-methyl-3-butenyl)-	006683-51-8	90
0,21	1-Nonadecene	018435-45-5	91
0,20	Dodecane	000112-40-3	97
0,19	4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl-	000826-36-8	94
0,19	1,19-Eicosadiene	014811-95-1	97
0,17	Benzene, (1-methylenebutyl)-	005676-32-4	97
0,17	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	90
0,13	Hexadecane, 1-chloro-	004860-03-1	93

### Vapor condensado A Ensaio 11

% da área do cromatograma	Nome do composto	CAS	Faixa de correspondência (%)
5,02	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
1,67	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
1,44	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	98
1,34	Eicosane	000112-95-8	95
1,30	1-Heptadecene	006765-39-5	94
1,20	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	97
1,19	Hexadecane	000544-76-3	96
1,17	Nonadecane	000629-92-5	95
1,16	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	93
1,09	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
1,04	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,97	Styrene	000100-42-5	96
0,94	Pentadecane	000629-62-9	96
0,90	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
0,87	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,87	1-Docosene	001599-67-3	93
0,84	2-Dodecene, (Z)-	007206-26-0	97
0,84	1-Heptadecene	006765-39-5	99
0,84	Heptadecane	000629-78-7	98
0,83	Octadecane	000593-45-3	98
0,80	3-Tetradecene, (E)-	041446-68-8	96
0,72	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,68	Benzene, 1,1'-(1-butenylidene)bis-	001726-14-3	93
0,67	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	96
0,66	5-Tetradecene, (E)-	041446-66-6	96
0,66	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	99
0,63	Heneicosane	000629-94-7	99
0,62	Naphthalene	000091-20-3	97
0,61	1,3-Benzenedicarbonitrile	000626-17-5	93
0,61	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	98
0,56	Heptadecanenitrile	005399-02-0	99
0,56	Tetacosane	000646-31-1	98

0,54	Hexadecane	000544-76-3	96
0,53	p-Terphenyl	000092-94-4	94
0,52	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,50	Tetradecane	000629-59-4	96
0,49	Biphenyl	000092-52-4	96
0,45	(E)-Stilbene	000103-30-0	95
0,45	Pyrene	000129-00-0	93
0,42	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	95
0,42	Heptadecane	000629-78-7	94
0,39	2,6-Dodecadien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E,E)-	020576-56-1	90
0,38	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	94
0,38	Cyclohexadecane	000295-65-8	95
0,37	Naphthalene, 2-methyl-	000091-57-6	96
0,37	11-Dodecen-1-ol, 2,4,6-trimethyl-,(R,R,R)-	027829-54-5	90
0,36	Tridecane	000629-50-5	95
0,33	Phenol	000108-95-2	91
0,33	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	94
0,33	Dodecane	000112-40-3	95
0,28	2-Bromo dodecane	013187-99-0	90
0,28	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	95
0,28	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	97
0,25	1-Decene	000872-05-9	93
0,25	Octadecane	000593-45-3	95
0,25	Cyclotetracosane	000297-03-0	96
0,24	Undecane	001120-21-4	94
0,24	E-3-Pentadecen-2-ol	1000130-83-8	96
0,24	1,1':3',1"-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	99
0,22	7-Hexadecene, (Z)-	035507-09-6	93
0,22	Eicosane	000112-95-8	90
0,20	Naphthalene, 1-methyl-	000090-12-0	97
0,20	Naphthalene, 2,6-dimethyl-	000581-42-0	94
0,19	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,19	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	000556-67-2	91
0,19	Caprolactam	000105-60-2	90
0,18	1-Hexacosene	018835-33-1	90
0,18	Ethylbenzene	000100-41-4	91
0,17	(R)-(-)-(Z)-14-Methyl-8-hexadecen-1-ol	030689-78-2	91
0,16	1H-Indene, 1-methyl-	000767-59-9	90
0,15	13-Tetradecen-1-ol acetate	056221-91-1	93
0,15	Hexadecane, 1-iodo-	000544-77-4	95
0,13	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	92
0,13	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	93
0,13	Hexadecane, 1-iodo-	000544-77-4	90
0,12	Benzene, butyl-	000104-51-8	94
0,11	Decane	000124-18-5	90
0,11	Indene	000095-13-6	95
0,08	1,12-Tridecadiene	021964-48-7	95

**Vapor condensado A Ensaio 12**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
10,04	Styrene	000100-42-5	96



3,03	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
2,79	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
2,74	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
2,70	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
2,25	Caprolactam	000105-60-2	94
1,75	Ethylbenzene	000100-41-4	91
1,27	1-Pentadecene	013360-61-7	98
1,26	Toluene	000108-88-3	87
0,91	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	97
0,91	1-Nonadecene	018435-45-5	94
0,87	Cyclododecane	000294-62-2	94
0,82	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	95
0,72	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,70	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,70	2,5-Diphenyl-1,5-hexadiene	007283-49-0	90
0,67	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	96
0,67	1-Heptadecene	006765-39-5	99
0,63	1-Decene	000872-05-9	93
0,59	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,58	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	93
0,58	2,2,6,6-Tetramethyl-4-piperidone	010581-38-1	94
0,58	1-Dodecene	000112-41-4	96
0,56	Tetradecane	000629-59-4	95
0,56	1-Docosene	001599-67-3	95
0,53	Naphthalene, 2-phenyl-	000612-94-2	90
0,52	Naphthalene	000091-20-3	95
0,51	Pentadecane	000629-62-9	96
0,49	cis-9-Tetradecen-1-ol	035153-15-2	92
0,48	Eicosane	000112-95-8	96
0,48	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,44	Benzene, (1-methylenebutyl)-	005676-32-4	97
0,43	Naphthalene, 1-methyl-	000090-12-0	95
0,42	D-Limonene	005989-27-5	95
0,42	Benzene, 1,1'-(1-butenylidene)bis-	001726-14-3	91
0,41	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	96
0,40	Benzene, (3-methyl-3-butenyl)-	006683-51-8	91
0,40	Heptadecane	000629-78-7	98
0,39	Tridecane	000629-50-5	90
0,39	11-Hexadecen-1-ol, (Z)-	056683-54-6	90
0,36	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	95
0,35	Biphenyl	000092-52-4	96
0,35	(E)-Stilbene	000103-30-0	98
0,35	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,34	Benzene, (1-methylenepropyl)-	002039-93-2	96
0,34	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,2-ethane diyl)bis-	005814-85-7	94
0,33	Indene	000095-13-6	95
0,33	2-Methylindene	002177-47-1	96
0,33	Cyclotetracosane	000297-03-0	99
0,33	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,30	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	96
0,30	1,2-Diphenylcyclopropane	029881-14-9	93
0,29	Naphthalene, 2-methyl-	000091-57-6	96
0,28	Benzene, 1-propenyl-	000637-50-3	95
0,28	Phenol, 2-methyl-	000095-48-7	96

0,27	Octadecane	000593-45-3	97
0,26	Eicosane	000112-95-8	90
0,25	1,19-Eicosadiene	014811-95-1	95
0,25	1,19-Eicosadiene	014811-95-1	97
0,23	1,2-Dihydro-3-phenyl-naphthalene	020669-52-7	98
0,23	1,19-Eicosadiene	014811-95-1	93
0,23	Heneicosane	000629-94-7	96
0,23	Heptadecane	000629-78-7	94
0,23	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,22	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,22	Dodecane	000112-40-3	93
0,22	Phenol, 2,4,6-trimethyl-	000527-60-6	96
0,22	1H-Indene, 2-methyl-3-phenyl-	035099-60-6	98
0,22	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	97
0,21	4a,9a-Methano-9H-fluorene	019540-84-2	93
0,21	Bicyclo[2.2.1]heptane-2,5-dione, 1,7,7-trimethyl-	004230-32-4	93
0,21	Cyclotetracosane	000297-03-0	98
0,20	Octadecane	000593-45-3	95
0,19	Benzene, propyl-	000103-65-1	90
0,19	Undecane	001120-21-4	94
0,18	1,4-Dihydronaphthalene	000612-17-9	96
0,18	1H-Indene, 2,3-dimethyl-	004773-82-4	94
0,17	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	97
0,17	1-Nonene	000124-11-8	93
0,17	Phenol, 2,6-dimethyl-	000576-26-1	96
0,16	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	93
0,16	Heptadecane	000629-78-7	95
0,14	p-Xylene	000106-42-3	95
0,14	4-Methyl-2-heptene	003404-56-6	91
0,13	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	96
0,12	1H-Indene, 1-ethenyl-2,3-dihydro-	051783-46-1	95
0,10	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	001839-63-0	97
0,08	(1-Methylbuta-1,3-dienyl)benzene	054758-36-0	91
0,08	Octadecane	000593-45-3	95

**Vapor condensado A Ensaio 13**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
9,02	Styrene	000100-42-5	96
4,11	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
3,76	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
3,19	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
2,55	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
1,61	Ethylbenzene	000100-41-4	94
1,10	1-Tridecene	002437-56-1	95
0,92	4-Tetradecene, (E)-	041446-78-0	93
0,91	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98
0,85	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	98
0,83	Toluene	000108-88-3	60
0,83	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,80	1-Dodecene	000112-41-4	96

0,79	Benzenecarboxylic acid	000065-85-0	93
0,74	1-Heptadecene	006765-39-5	99
0,73	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,69	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	95
0,68	Eicosane	000112-95-8	90
0,63	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,62	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	90
0,61	Nonadecane	000629-92-5	97
0,60	Pentadecane	000629-62-9	97
0,57	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,56	Heptadecane	000629-78-7	98
0,54	9-Nonadecene	031035-07-1	93
0,53	1-Decene	000872-05-9	93
0,53	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	90
0,52	Caprolactam	000105-60-2	95
0,51	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	93
0,45	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	96
0,44	Tetradecane	000629-59-4	95
0,42	Tridecane	000629-50-5	95
0,42	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,38	Octadecane	000593-45-3	98
0,37	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	96
0,35	Dodecane	000112-40-3	95
0,33	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	95
0,31	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,30	cis-Stilbene	000645-49-8	98
0,28	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	97
0,27	Heneicosane	000629-94-7	98
0,27	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	99
0,24	Bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene, 7 -methyl-	055337-80-9	95
0,24	Benzene, butyl-	000104-51-8	90
0,23	Benzene, (3-methyl-3-butenyl)-	006683-51-8	90
0,22	Undecane	001120-21-4	94
0,21	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	90
0,20	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	95
0,20	Docosane	000629-97-0	94
0,19	Eicosane	000112-95-8	90
0,17	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.alpha.)-	001795-27-3	97
0,17	Limonene	000138-86-3	94
0,17	Nonadecane	000629-92-5	93
0,15	Heptadecanenitrile	005399-02-0	96
0,14	Benzene, (1-methylenebutyl)-	005676-32-4	96
0,13	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	99
0,12	Benzene, propyl-	000103-65-1	90
0,12	1,19-Eicosadiene	014811-95-1	90
0,10	1,3-Pentadiene, 2,3-dimethyl-	001113-56-0	97
0,07	Eicosane	000112-95-8	95
0,03	1-Nonadecene	018435-45-5	95

Vapor condensado A Ensaio 14

% da área do cromatograma	Nome do composto	CAS	Faixa de correspondência (%)
14,98	Styrene	000100-42-5	95
4,13	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
3,67	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
2,88	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
2,22	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,11	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
0,85	1-Tridecene	002437-56-1	95
0,78	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	97
0,61	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	99
0,58	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98
0,58	Nonadecane	000629-92-5	96
0,53	Cyclododecane	000294-62-2	94
0,52	Phenol	000108-95-2	91
0,51	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,51	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,50	Eicosane	000112-95-8	96
0,46	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,45	Tetradecane	000629-59-4	96
0,44	1-Heptadecene	006765-39-5	98
0,43	Pentadecane	000629-62-9	96
0,41	Tridecane	000629-50-5	95
0,41	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	95
0,41	Heptadecane	000629-78-7	98
0,41	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	96
0,41	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,40	Toluene	000108-88-3	87
0,38	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,34	1-Decene	000872-05-9	93
0,34	D-Limonene	005989-27-5	95
0,34	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,33	2-Dodecene, (Z)-	007206-26-0	97
0,33	Biphenyl	000092-52-4	92
0,33	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	93
0,32	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	99
0,29	Naphthalene, 1-methyl-	000090-12-0	93
0,28	1-Nonadecene	018435-45-5	98
0,28	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,27	Benzene, cyclopropyl-	000873-49-4	95
0,27	Heneicosane	000629-94-7	98
0,27	Tetracosane	000646-31-1	98
0,25	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	94
0,25	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	98
0,24	Phenol, 2-methyl-	000095-48-7	95
0,23	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	93
0,22	Undecane	001120-21-4	94
0,22	Dodecane	000112-40-3	95
0,22	10,11-Dihydro-5H-dibenzo(a,d)cyclo heptene	000833-48-7	93
0,22	1-Hexacosene	018835-33-1	90
0,22	Hexadecane, 1-iodo-	000544-77-4	91
0,21	Decane	000124-18-5	90
0,21	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	97
0,21	Octadecane	000593-45-3	96

0,20	E-2-Tetradecen-1-ol	1000130-83-7	91
0,20	Octadecane	000593-45-3	95
0,19	Benzene, butyl-	000104-51-8	95
0,19	cis-Stilbene	000645-49-8	96
0,17	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	97
0,17	Phenol, 2,6-dimethyl-	000576-26-1	98
0,16	Naphthalene	000091-20-3	94
0,15	Benzene, (1-ethyl-2-propenyl)-	019947-22-9	95
0,15	Phenol, 2,4,6-trimethyl-	000527-60-6	95
0,14	1-Nonene	000124-11-8	93
0,12	Benzene, propyl-	000103-65-1	90
0,12	1,1':3',1"-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	99
0,11	Oxirane, 2-decyl-3-(5-methylhexyl)-, cis-(./-.)-	057457-72-4	93
0,11	Cyclotetradecane, 1,7,11-trimethyl -4-(1-methylethyl)-	001786-12-5	93
0,10	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	001839-63-0	97
0,10	Nonane	000111-84-2	90
0,08	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	95
0,07	Benzene, 1-methyl-2-(2-propenyl)-	001587-04-8	95
0,07	Phenanthrene, 1-methyl-7-(1-methylethyl)-	000483-65-8	96

**Vapor condensado A Ensaio 15**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
23,52	Styrene	000100-42-5	96
2,94	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
2,75	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,68	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
2,56	Toluene	000108-88-3	87
2,29	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
2,14	Caprolactam	000105-60-2	95
1,25	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	91
0,89	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,88	D-Limonene	005989-27-5	95
0,88	3-Tetradecene, (E)-	041446-68-8	96
0,88	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98
0,87	1-Decene	000872-05-9	93
0,86	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	94
0,83	1-Nonadecene	018435-45-5	94
0,73	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,72	Nonadecane	000629-92-5	95
0,66	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,66	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,64	1-Dodecene	000112-41-4	96
0,62	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,58	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	93
0,55	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,53	Eicosane	000112-95-8	98
0,47	Pentadecane	000629-62-9	97
0,44	1-Nonene	000124-11-8	91
0,43	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99

0,42	4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl-	000826-36-8	94
0,41	Tridecane	000629-50-5	93
0,41	Heptadecane	000629-78-7	96
0,36	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,32	Octadecane	000593-45-3	98
0,31	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	97
0,31	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	96
0,30	1H-Indene, 1-methyl-	000767-59-9	91
0,30	Tetradecane	000629-59-4	95
0,30	1,12-Tridecadiene	021964-48-7	93
0,29	Benzene, (1-methylenebutyl)-	005676-32-4	97
0,27	Benzene, (3-methyl-3-butenyl)-	006683-51-8	90
0,26	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	93
0,26	Undecane	001120-21-4	94
0,25	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	95
0,24	Dodecane	000112-40-3	93
0,22	Heneicosane	000629-94-7	97
0,21	1-Tricosene	018835-32-0	97
0,20	9-Hexadecen-1-ol, (Z)-	010378-01-5	91
0,18	Heptadecane	000629-78-7	95
0,17	1-Nonadecene	018435-45-5	92
0,14	1-Docosene	001599-67-3	94
0,12	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	95

**Vapor condensado A Ensaio 16**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
12,52	Styrene	000100-42-5	96
4,29	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	95
3,75	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
3,66	Ethylbenzene	000100-41-4	91
3,64	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
3,19	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
2,10	Toluene	000108-88-3	76
1,40	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,92	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,91	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	95
0,91	1,3-Benzenedicarbonitrile	000626-17-5	90
0,74	Phenol	000108-95-2	91
0,73	Trichloroacetic acid, dodecyl este	074339-50-7	91
0,66	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	98
0,63	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,54	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	90
0,53	Hexadecanenitrile	000629-79-8	96
0,51	Pentadecane	000629-62-9	96
0,50	Eicosane	000112-95-8	93
0,49	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	95
0,46	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	96
0,43	Benzenecarboxylic acid	000065-85-0	93
0,42	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	94

0,42	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	98
0,40	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	97
0,38	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,37	1-Dodecene	000112-41-4	95
0,37	3-Tetradecene, (E)-	041446-68-8	95
0,33	Heptadecane	000629-78-7	96
0,30	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	99
0,29	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	95
0,28	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	93
0,28	Dodecane	000112-40-3	91
0,28	Biphenyl	000092-52-4	96
0,28	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,26	Heptadecanenitrile	005399-02-0	99
0,26	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	93
0,25	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	97
0,25	1-Decene	000872-05-9	93
0,25	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,24	Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, (S)-	005989-54-8	97
0,24	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	94
0,24	Tetradecane	000629-59-4	96
0,23	(E)-Stilbene	000103-30-0	98
0,22	Naphthalene, 2-methyl-	000091-57-6	91
0,22	Tridecane	000629-50-5	95
0,22	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	95
0,22	Heneicosane	000629-94-7	97
0,21	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	99
0,20	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	001839-63-0	97
0,20	1-Hexacosene	018835-33-1	99
0,19	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	000556-67-2	90
0,19	Heptadecane	000629-78-7	93
0,18	Eicosane	000112-95-8	90
0,17	1-Heneicosanol	015594-90-8	90
0,15	Benzene, butyl-	000104-51-8	94
0,15	Heptadecane	000629-78-7	95
0,14	4-Cyanobenzoic acid, cyclopentyl ester	054210-50-3	90
0,11	Heptane, 2,4-dimethyl-	002213-23-2	90
0,11	Benzene, propyl-	000103-65-1	90
0,11	1-Hexacosene	018835-33-1	97
0,10	1-Nonene	000124-11-8	94
0,10	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	96
0,09	Nonane	000111-84-2	90
0,08	3-Penten-2-one, 4-methyl-	000141-79-7	90
0,08	3-Phenylbut-1-ene	000934-10-1	90
0,07	Benzeneacetonitrile, .alpha.-methyl-	001823-91-2	96
0,06	Benzene, 1-methyl-2-(2-propenyl)-	001587-04-8	95
0,06	1,1':3,1''-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	99

**Vapor condensado A Ensaio 18**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
26,08	Styrene	000100-42-5	96

13,91	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
10,78	Ethylbenzene	000100-41-4	94
9,07	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
8,08	Toluene	000108-88-3	76
4,95	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	95
4,20	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
1,91	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
1,06	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97

**Vapor condensado A Ensaio 19**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
18,37	Styrene	000100-42-5	96
5,03	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
4,40	Ethylbenzene	000100-41-4	91
3,96	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
3,68	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
3,67	Toluene	000108-88-3	76
0,96	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,64	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	95
0,60	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,54	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	95
0,49	1-Pentadecene	013360-61-7	98
0,48	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	97
0,48	D-Limonene	005989-27-5	95
0,47	Caprolactam	000105-60-2	95
0,46	3-Eicosene, (E)-	074685-33-9	97
0,46	Eicosane	000112-95-8	96
0,44	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98
0,43	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	000556-67-2	91
0,40	Cyclododecane	000294-62-2	94
0,39	1-Heptadecene	006765-39-5	99
0,37	Heptadecane	000629-78-7	96
0,35	Tridecane	000629-50-5	93
0,34	Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	000541-05-9	91
0,33	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,32	Tetradecane	000629-59-4	95
0,30	Pentadecane	000629-62-9	96
0,30	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	90
0,29	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,29	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,28	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	001839-63-0	97
0,28	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	98
0,26	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	93
0,26	Octadecane	000593-45-3	98
0,25	2-Dodecene, (Z)-	007206-26-0	97
0,24	Benzene, 1,1'-(2-methyl-2-propenylidene)bis-	070813-56-8	91
0,23	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	98
0,21	Undecane	001120-21-4	94



0,21	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	92
0,21	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	95
0,20	4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl-	000826-36-8	90
0,19	Benzene, 1-propenyl-	000637-50-3	93
0,19	Benzene, butyl-	000104-51-8	95
0,19	Phenol, 2-methyl-	000095-48-7	98
0,19	Dodecane, 4,6-dimethyl-	061141-72-8	94
0,19	Heneicosane	000629-94-7	97
0,19	Octadecane	000593-45-3	95
0,17	Dodecane	000112-40-3	93
0,16	1-Tricosene	018835-32-0	99
0,15	Benzene, propyl-	000103-65-1	90
0,15	Benzene, (3-methyl-3-butenyl)-	006683-51-8	90
0,15	Heptadecane	000629-78-7	94
0,14	Heptadecane	000629-78-7	94
0,12	Heptane	000142-82-5	91
0,10	1,3-Pentadiene, 2,3-dimethyl-	001113-56-0	94
0,01	1-Heptene, 2-methyl-	015870-10-7	91

**Vapor condensado A Ensaio 20**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
9,40	Styrene	000100-42-5	95
4,54	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
3,54	Ethylbenzene	000100-41-4	91
3,03	Toluene	000108-88-3	87
2,36	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
2,04	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
1,39	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
1,06	Hexadecane	000544-76-3	95
1,03	Ethisterone	000434-03-7	91
0,97	1-Tridecene	002437-56-1	93
0,88	Eicosane	000112-95-8	98
0,82	1-Heptadecene	006765-39-5	99
0,75	1-Nonadecene	018435-45-5	94
0,73	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98
0,70	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,69	3-Tetradecene, (Z)-	041446-67-7	97
0,68	Nonadecane	000629-92-5	96
0,67	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,66	1-Docosene	001599-67-3	92
0,62	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,58	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,57	1-Decene	000872-05-9	94
0,55	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	93
0,53	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,52	1-Dodecene	000112-41-4	96
0,52	Pentadecane	000629-62-9	97
0,52	Heptadecane	000629-78-7	98
0,51	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	99
0,50	Tridecane	000629-50-5	95
0,48	Octadecane	000593-45-3	98

0,46	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	97
0,44	Tetradecane	000629-59-4	96
0,44	Heptadecane	000629-78-7	94
0,43	Heneicosane	000629-94-7	99
0,41	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	96
0,40	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	94
0,40	Eicosane	000112-95-8	98
0,39	1-Octene	000111-66-0	90
0,37	Biphenyl	000092-52-4	94
0,37	Cyclotetracosane	000297-03-0	98
0,36	Phenol	000108-95-2	90
0,36	Tetracosane	000646-31-1	98
0,35	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	001839-63-0	97
0,35	D-Limonene	005989-27-5	96
0,35	1,19-Eicosadiene	014811-95-1	96
0,33	Undecane	001120-21-4	95
0,32	Decane	000124-18-5	90
0,32	Dodecane	000112-40-3	97
0,30	1-Nonene	000124-11-8	95
0,28	Octadecane	000593-45-3	95
0,27	Naphthalene	000091-20-3	95
0,27	Naphthalene, 1-methyl-	000090-12-0	94
0,25	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	98
0,24	Phenol, 2-methyl-	000095-48-7	94
0,24	1,2-Benzenedicarboxylic acid, diisooctyl ester	027554-26-3	91
0,24	Cyclotetracosane	000297-03-0	97
0,23	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,22	Nonane	000111-84-2	91
0,21	Benzene, 1-ethenyl-2-methyl-	000611-15-4	95
0,21	Benzene, butyl-	000104-51-8	94
0,20	p-Xylene	000106-42-3	95
0,19	3a,6-Methano-3aH-indene, 2,3,6,7-tetrahydro-	098640-29-0	90
0,18	1-Heptene, 2-methyl-	015870-10-7	91
0,16	17-Pentatriacontene	006971-40-0	90
0,15	Eicosane	000112-95-8	90
0,13	Indene	000095-13-6	94
0,13	Benzene, (1-ethyl-2-propenyl)-	019947-22-9	95
0,13	Cyclohexane, methyl-	000108-87-2	94
0,12	1,1':3',1''-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	99
0,11	1,3-Pentadiene, 2,3-dimethyl-	001113-56-0	94
0,11	1-Ethyl-2,2,6-trimethylcyclohexane	071186-27-1	93
0,11	Phenanthrene, 1-methyl-7-(1-methylethyl)-	000483-65-8	94
0,09	1-Ethyl-2,2,6-trimethylcyclohexane	071186-27-1	90
0,09	5-Methyl-Z-5-docosene	1000131-17-1	90
0,08	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	96
0,07	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	000611-14-3	92
0,05	Benzene, 1,2,4-trimethyl-	000095-63-6	94
0,05	Hexadecane, 1-iodo-	000544-77-4	90

Vapor condensado A Ensaio 21

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
10,49	Styrene	000100-42-5	96
2,51	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
2,49	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
2,45	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
2,17	Ethylbenzene	000100-41-4	94
2,03	Toluene	000108-88-3	76
1,25	Caprolactam	000105-60-2	94
1,19	1-Tridecene	002437-56-1	97
1,15	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,96	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	95
0,86	Heptane, 3-methylene-	001632-16-2	91
0,85	Cyclododecane	000294-62-2	94
0,82	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	99
0,76	Trichloroacetic acid, hexadecyl ester	074339-54-1	94
0,67	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,64	1-Heptadecene	006765-39-5	97
0,61	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,60	1-Decene	000872-05-9	93
0,60	Ethisterone	000434-03-7	91
0,59	1-Docosene	001599-67-3	94
0,58	Nonadecane	000629-92-5	96
0,57	2-Dodecene, (Z)-	007206-26-0	97
0,57	Diphenylmethane	000101-81-5	90
0,55	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	93
0,53	D-Limonene	005989-27-5	95
0,52	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,49	Phenol	000108-95-2	90
0,48	Pentadecane	000629-62-9	96
0,48	Eicosane	000112-95-8	93
0,40	Tetradecane	000629-59-4	95
0,40	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,39	Heptadecane	000629-78-7	98
0,38	Acetophenone	000098-86-2	91
0,37	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,37	Tridecane	000629-50-5	93
0,37	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	97
0,37	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	90
0,37	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	93
0,35	Z,Z-3,13-Octadecadien-1-ol	1000131-10-7	91
0,35	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	99
0,35	Cyclotetracosane	000297-03-0	98
0,34	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	97
0,34	Naphthalene, 2-methyl-	000091-57-6	92
0,30	2-Octene, (E)-	013389-42-9	90
0,30	Benzene, (1-methylenebutyl)-	005676-32-4	96
0,28	Phenol, 2-methyl-	000095-48-7	96
0,28	Benzene, (2-methyl-3-butenyl)-	001647-06-9	90
0,28	Octadecane	000593-45-3	98
0,28	Cyclotetracosane	000297-03-0	98
0,28	Eicosane	000112-95-8	90

0,27	4-Methyl-2-heptene	003404-56-6	91
0,27	4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl-	000826-36-8	94
0,25	Bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene, 7	055337-80-9	95
0,25	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	93
0,25	Octadecane	000593-45-3	96
0,24	Undecane	001120-21-4	94
0,24	Dodecane	000112-40-3	93
0,23	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.alpha.)-	001795-27-3	97
0,23	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,2-ethanediyl)bis-	005814-85-7	91
0,23	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	91
0,22	Heneicosane	000629-94-7	97
0,22	Heneicosane, 10-methyl-	013287-25-7	91
0,22	Cyclotetracosane	000297-03-0	94
0,21	Phenol, 2,6-dimethyl-	000576-26-1	96
0,21	Octadecane	000593-45-3	95
0,20	1-Nonene	000124-11-8	94
0,20	1H-Indene, 1-methyl-	000767-59-9	90
0,20	Phenol, 2,4,6-trimethyl-	000527-60-6	95
0,19	Eicosane	000112-95-8	90
0,16	Benzene, butyl-	000104-51-8	93
0,16	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	95
0,15	Benzene, (1-methylenepropyl)-	002039-93-2	96
0,14	1,19-Eicosadiene	014811-95-1	96
0,12	1,3-Pentadiene, 2,3-dimethyl-	001113-56-0	93
0,12	Cyclohexene, 1-methyl-	000591-49-1	93
0,12	2-Heptene, 3-methyl-	003404-75-9	90
0,12	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	95
0,12	Eicosane	000112-95-8	90
0,11	cis-9-Hexadecenal	056219-04-6	91
0,10	Indene	000095-13-6	95
0,10	13-Tetradecen-1-ol acetate	056221-91-1	94
0,10	11,13-Dimethyl-12-tetradecen-1-olacetate	1000130-81-0	91
0,10	Heptadecane	000629-78-7	93

**Vapor condensado A Ensaio 22**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
19,45	Styrene	000100-42-5	96
5,08	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
4,96	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
4,06	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
3,29	Caprolactam	000105-60-2	95
2,91	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
2,30	Tolueno	000108-88-3	87
2,00	Ethylbenzene	000100-41-4	91
1,08	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	95
0,81	1-Pentadecene	013360-61-7	98
0,68	Phenol	000108-95-2	90
0,60	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	95

0,57	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,56	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	97
0,53	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	97
0,53	1-Nonadecene	018435-45-5	98
0,50	2-Chloropropionic acid, octadecylester	088104-31-8	94
0,46	D-Limonene	005989-27-5	95
0,44	1-Heptadecene	006765-39-5	99
0,40	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,39	1-Dodecene	000112-41-4	96
0,38	Benzene, (1-methylenebutyl)-	005676-32-4	96
0,38	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,35	Pentadecane	000629-62-9	96
0,33	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	94
0,33	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,32	Tridecane	000629-50-5	93
0,32	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	96
0,31	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,30	4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl	000826-36-8	94
0,30	Heptadecane	000629-78-7	97
0,29	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	97
0,28	Tetradecane	000629-59-4	94
0,27	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	96
0,26	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,26	2-Nonadecanone	000629-66-3	93
0,26	Eicosane	000112-95-8	90
0,23	Azulene	000275-51-4	90
0,23	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	99
0,22	1-Nonadecene	018435-45-5	97
0,21	Benzene, 1-propenyl-	000637-50-3	95
0,20	Octadecane	000593-45-3	97
0,19	Phenol, 2-methyl-	000095-48-7	95
0,18	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,2-ethanediyl)bis-	005814-85-7	94
0,17	Heneicosane	000629-94-7	96
0,15	Dodecane	000112-40-3	90
0,15	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	95
0,15	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	95
0,15	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	93
0,14	Octadecane	000593-45-3	95
0,14	Octadecane	000593-45-3	94
0,09	1-Docosene	001599-67-3	96
0,05	1-Nonadecene	018435-45-5	94

**Vapor condensado A Ensaio 23**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
17,95	Styrene	000100-42-5	95
4,20	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
3,56	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
3,45	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96

2,80	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,64	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	95
2,15	Toluene	000108-88-3	91
2,11	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
0,82	1-Octanol, 3,7-dimethyl-	000106-21-8	80
0,64	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,59	1-Tridecene	002437-56-1	97
0,54	1-Tridecene	002437-56-1	95
0,54	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	96
0,53	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	97
0,51	1-Heptadecene	006765-39-5	99
0,46	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	93
0,46	1-Tetradecene	001120-36-1	95
0,46	Nonadecane	000629-92-5	95
0,45	Phenol, 3-(1-methylethyl)-	000618-45-1	93
0,44	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,44	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,43	1-Octadecene	000112-88-9	96
0,42	3-Eicosene, (E)-	074685-33-9	95
0,39	Pentadecane	000629-62-9	95
0,37	1-Dodecene	000112-41-4	96
0,34	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	96
0,31	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	95
0,29	Heptadecane	000629-78-7	98
0,28	Biphenyl	000092-52-4	96
0,28	Naphthalene, 2-phenyl-	000612-94-2	92
0,27	Hexadecane	000544-76-3	96
0,27	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis	001520-44-1	97
0,27	10-Heneicosene (c,t)	095008-11-0	95
0,25	Tetradecane	000629-59-4	95
0,24	Undecane	001120-21-4	91
0,24	1-Docosene	001599-67-3	94
0,23	Octadecane, 1-chloro-	003386-33-2	90
0,22	Benzene, cyclopropyl-	000873-49-4	95
0,22	Dodecane	000112-40-3	97
0,22	(E)-Stilbene	000103-30-0	96
0,21	2-Chloroethyl benzoate	000939-55-9	93
0,21	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	94
0,21	1-Nonadecene	018435-45-5	91
0,20	Sulfurous acid, 2-propyl tridecylester	1000309-12-4	91
0,19	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	97
0,18	1,4-Ethenoanthracene, 1,4-dihydro-	027765-96-4	91
0,18	Hexadecanoic acid, methyl ester	000112-39-0	96
0,18	Eicosane	000112-95-8	97
0,17	Decane	000124-18-5	93
0,17	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	96
0,17	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	99
0,16	D-Limonene	005989-27-5	95
0,16	Benzene, 2-ethenyl-1,4-dimethyl-	002039-89-6	91
0,16	17-Pentatriacontene	006971-40-0	91
0,15	Benzene, (1-ethyl-2-propenyl)-	019947-22-9	95
0,14	Benzene, (1-methyl-1-butenyl)-	053172-84-2	90
0,13	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	93

0,13	Naphthalene, 2-methyl-	000091-57-6	93
0,08	Benzene, 1,3-dimethyl-	000108-38-3	93
0,06	1,1':3',1"-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	97

**Vapor condensado A Ensaio 24**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
19,26	Styrene	000100-42-5	95
4,10	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	95
3,44	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
2,66	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
2,39	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
2,12	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,07	Caprolactam	000105-60-2	95
1,93	Toluene	000108-88-3	91
1,49	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
1,41	Phenol	000108-95-2	91
0,88	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	93
0,58	Tetracyclo[4.2.1.0(3,7).0(2,9)]non-4-ene, 4-phenyl-	1000164-30-3	93
0,55	1-Tridecene	002437-56-1	90
0,53	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98
0,50	1-Pentadecene	013360-61-7	98
0,50	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,49	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	98
0,46	3-Tetradecene, (Z)-	041446-67-7	97
0,44	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	94
0,44	Cycloeicosane	000296-56-0	96
0,43	Octadecane	000593-45-3	95
0,42	Benzene, 1,1'-(1,2-ethanediyl)bis-	000103-29-7	91
0,42	1-Heptadecene	006765-39-5	99
0,37	1-Octadecene	000112-88-9	95
0,35	Benzene, (1-methylenebutyl)-	005676-32-4	93
0,34	Azulene	000275-51-4	93
0,34	Pentadecane	000629-62-9	95
0,33	1-Dodecene	000112-41-4	96
0,32	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	96
0,31	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	93
0,29	(4-Methyl-1-methylenepent-4-enyl)benzene	063942-88-1	94
0,29	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,2-ethanediyl)bis-	005814-85-7	93
0,28	D-Limonene	005989-27-5	95
0,28	Naphthalene, 2-ethenyl-	000827-54-3	95
0,27	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	93
0,27	Benzene, (3-methyl-3-butenyl)-	006683-51-8	90
0,27	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	96
0,26	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,25	Diphenylmethane	000101-81-5	94
0,25	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,23	cis-Stilbene	000645-49-8	98
0,23	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,22	Heptadecane	000629-78-7	98
0,21	Sulfurous acid, dodecyl 2-propyl ester	1000309-12-3	91

0,20	Phenol, 2,6-dimethyl-	000576-26-1	98
0,20	Hexadecane	000544-76-3	95
0,20	Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	005129-60-2	98
0,19	Tetradecane	000629-59-4	94
0,19	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	96
0,19	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	96
0,18	Dodecane	000112-40-3	93
0,18	Tricyclo[9.2.2.2(4,7)]heptadeca- 1(14),2,4(17),5,7(16),11(15),12-heptaene	049576-90-1	93
0,16	Undecane	001120-21-4	93
0,15	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,15	Tetatriacontane	014167-59-0	91
0,14	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	93
0,14	Benzene, 1-propynyl-	000673-32-5	94
0,14	3,4-Dimethylanisole	004685-47-6	96
0,14	Naphthalene, 2-methyl-	000091-57-6	95
0,14	1,1'-Biphenyl, 4-methyl-	000644-08-6	95
0,14	Dibenzo[a,e]cyclooctene	000262-89-5	95
0,13	Benzene, 1,1'-(1-butenylidene)bis-	001726-14-3	98
0,13	2-Nonadecanone	000629-66-3	93
0,12	4-Hydrazono-5-hydroxyimino-4,5,6,7- tetrahydrobenzofuroxane	303194-86-7	90
0,10	4a,9a-Methano-9H-fluorene	019540-84-2	95
0,10	Benzo[h]quinoline	000230-27-3	93
0,10	Tricyclo[5.2.1.0(2,6)]decane, 3-methylene-4-phenyl-	1000150-37-1	93
0,10	Carbonic acid, octadecyl 2,2,2-trichloroethyl ester	1000314-56-3	91
0,08	p-Xylene	000106-42-3	93
0,08	1-Naphthalenecarbonitrile	000086-53-3	92
0,06	1,1':3,1''-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	97
0,04	17-Pentatriacontene	006971-40-0	90

**Vapor condensado A Ensaio 25**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
14,01	Styrene	000100-42-5	95
4,98	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
3,61	Ethylbenzene	000100-41-4	91
3,19	Toluene	000108-88-3	91
3,24	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	95
2,63	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
2,24	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	95
1,14	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,74	Nonadecane	000629-92-5	95
0,72	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	95
0,62	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	91
0,60	Cyclobutane, 1-butyl-2-ethyl-	1000150-67-3	93
0,57	1-Heptadecene	006765-39-5	99
0,54	1-Pentadecene	013360-61-7	99
0,51	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	97
0,50	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98



0,49	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	94
0,49	Phenol	000108-95-2	90
0,49	Pentadecane	000629-62-9	98
0,47	1-Pentadecene	013360-61-7	98
0,45	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,45	3-Eicosene, (E)-	074685-33-9	96
0,43	Heptadecane	000629-78-7	98
0,41	Caprolactam	000105-60-2	94
0,41	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	98
0,41	Naphthalene, 2-phenyl-	000612-94-2	95
0,40	Heptacosane, 1-chloro-	062016-79-9	91
0,39	1-Octadecene	000112-88-9	96
0,39	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	94
0,38	1,2-Diphenylcyclopropane	029881-14-9	94
0,37	Hexadecane	000544-76-3	98
0,37	Tritetracontane	007098-21-7	91
0,36	1-Tetradecene	001120-36-1	97
0,36	Heneicosane	000629-94-7	99
0,36	Tetracosane	000646-31-1	93
0,34	Diphenylmethane	000101-81-5	96
0,33	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,32	Tetradecane	000629-59-4	96
0,32	Octadecane	000593-45-3	98
0,32	Eicosane	000112-95-8	98
0,31	Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	005129-60-2	96
0,29	D-Limonene	005989-27-5	94
0,29	1-Undecanol	000112-42-5	90
0,28	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,27	cis-Stilbene	000645-49-8	94
0,25	Bicyclo[2.2.1]heptane-2,5-dione, 1,7,7-trimethyl	004230-32-4	90
0,25	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,25	p-Terphenyl	000092-94-4	93
0,24	Phenol, 2,6-dimethyl-	000576-26-1	98
0,24	1-Dodecene	000112-41-4	96
0,24	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	92
0,24	Dibenzo[a,e]cyclooctene	000262-89-5	95
0,23	Phenanthrene	000085-01-8	96
0,21	Undecane	001120-21-4	95
0,21	Dodecane	000112-40-3	95
0,21	Octadecane	000593-45-3	97
0,20	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	95
0,19	Diphenylmethane	000101-81-5	94
0,18	Decane	000124-18-5	93
0,17	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	94
0,17	Biphenyl	000092-52-4	96
0,16	Nonane	000111-84-2	90
0,16	Phenol, 4-ethyl-	000123-07-9	91
0,16	Benzene, 1,1'-cyclopropylidenebis-	003282-18-6	95
0,15	Sulfurous acid, octadecyl 2-propylester	1000309-12-7	90
0,14	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	99
0,14	Tricyclo[5.2.1.0(2,6)]decane, 3-methylene-4-phenyl-	1000150-37-1	95
0,13	7-Hexadecene, (Z)-	035507-09-6	92
0,13	Cyclopentane, decyl-	001795-21-7	91

0,13	1,1':3',1"-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	99
0,12	1,2,4,4-Tetramethylcyclopentene	065378-76-9	90
0,12	Eicosane	000112-95-8	95
0,11	Benzene, (1-methyl-1-butenyl)-	053172-84-2	90
0,11	Naphthalene, 1-methyl-	000090-12-0	94
0,11	Fluoranthene	000206-44-0	96
0,09	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	92
0,09	Phenol, 2,4,6-trimethyl-	000527-60-6	95
0,07	p-Xylene	000106-42-3	93
0,07	Benzene, 1,3,5-trimethyl-	000108-67-8	93
0,05	Triquinacene	006053-74-3	91

**Vapor condensado A Ensaio 26**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
6,92	Styrene	000100-42-5	95
4,46	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
1,91	Ethylbenzene	000100-41-4	91
1,91	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
1,74	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	95
1,71	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
1,53	Toluene	000108-88-3	91
1,09	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,70	Pentadecane	000629-62-9	96
0,69	1-Pentadecene	013360-61-7	96
0,63	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-	074663-91-5	91
0,63	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98
0,63	1-Heptadecene	006765-39-5	99
0,62	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	99
0,58	1-Tridecene	002437-56-1	95
0,57	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,55	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,55	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,54	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	96
0,52	Pentadecane	000629-62-9	97
0,51	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	92
0,49	Tetracosane	000646-31-1	96
0,48	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	94
0,47	Caprolactam	000105-60-2	94
0,46	Tricosane	000638-67-5	97
0,45	Heptadecane	000629-78-7	98
0,45	Eicosane	000112-95-8	97
0,44	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.alpha.)-	001795-27-3	93
0,43	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,42	Hexadecane	000544-76-3	98
0,40	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,40	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	98
0,40	Heneicosane	000629-94-7	98
0,39	1-Docosene	001599-67-3	94

0,37	D-Limonene	005989-27-5	95
0,37	1-Dodecene	000112-41-4	96
0,37	Tetradecane	000629-59-4	96
0,36	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	96
0,35	Undecane	001120-21-4	95
0,35	Eicosane	000112-95-8	99
0,35	Cyclotetracosane	000297-03-0	95
0,32	1-Tricosene	018835-32-0	95
0,30	Dodecane	000112-40-3	97
0,29	Decane	000124-18-5	91
0,29	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	94
0,28	10,11-Dihydro-5H-dibenzo(a,d)cycloheptene	000833-48-7	91
0,27	1-Octadecene	000112-88-9	94
0,26	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	94
0,24	Biphenyl	000092-52-4	96
0,23	(E)-Stilbene	000103-30-0	93
0,22	Nonane	000111-84-2	91
0,22	Naphthalene	000091-20-3	95
0,19	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	91
0,19	Hexadecanoic acid, methyl ester	000112-39-0	96
0,19	1H-Pyrrolo[2,3-b]pyridine, 4-methyl-2-phenyl-	023688-50-8	91
0,18	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	94
0,18	Benzene, 1,1'-(1-butenylidene)bis-	001726-14-3	96
0,17	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,17	Heptadecane	000629-78-7	91
0,17	Octadecane, 1-(ethenyloxy)-	000930-02-9	96
0,16	17-Pentatriacontene	006971-40-0	93
0,15	Tricyclo[5.2.1.0(2,6)]decane, 3-methylene-4-phenyl-	1000150-37-1	91
0,14	Cyclododecane, ethyl-	028981-49-9	93
0,13	1,1'-Biphenyl, 3-methyl-	000643-93-6	96
0,12	Benzene, propyl-	000103-65-1	90
0,12	Benzene, (1-methylenebutyl)-	005676-32-4	91
0,11	Naphthalene, 2-methyl-	000091-57-6	97
0,10	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	93
0,10	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-	003018-20-0	97
0,10	17-Pentatriacontene	006971-40-0	91
0,09	17-Pentatriacontene	006971-40-0	93
0,08	Benzene, 1,3-dimethyl-	000108-38-3	97
0,08	Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	000620-14-4	95
0,08	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	95
0,08	Indene	000095-13-6	94
0,08	1H-Indene, 1-methyl-	000767-59-9	90
0,08	1,1':3',1''-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	99
0,07	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	000611-14-3	91
0,07	Cyclotetradecane	000295-17-0	95
0,07	Cyclotridecane	000295-02-3	93
0,07	Cyclotetradecane, 1,7,11-trimethyl-4-(1-methylethyl)-	001786-12-5	90
0,05	Tetracyclo[3.3.1.0(2,8).0(4,6)]-non-2-ene	1000191-13-7	95
0,05	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	95

Vapor condensado A Ensaio 27

% da área do cromatograma	Nome do composto	CAS	Faixa de correspondência (%)
11,64	Styrene	000100-42-5	95
2,97	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
2,77	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	91
2,23	Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)bis-	000080-05-7	98
2,02	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
1,82	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
1,71	Toluene	000108-88-3	91
1,57	Ethylbenzene	000100-41-4	91
1,45	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
0,89	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	95
0,84	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,56	Pentadecanenitrile	018300-91-9	90
0,55	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	96
0,52	Phenol	000108-95-2	91
0,52	1-Heptadecene	006765-39-5	99
0,50	Caprolactam	000105-60-2	93
0,49	trans-3-Decene	019150-21-1	90
0,48	Hexadecane	000544-76-3	97
0,47	1-Heptadecene	006765-39-5	91
0,46	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	91
0,44	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,43	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,41	Pentadecane	000629-62-9	96
0,41	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	99
0,35	Benzenecarboxylic acid	000065-85-0	94
0,32	Heptadecane	000629-78-7	97
0,32	Naphthalene, 2-phenyl-	000612-94-2	91
0,31	3-Tetradecene, (Z)-	041446-67-7	97
0,31	Eicosane	000112-95-8	95
0,30	Methanol, oxo-, benzoate	1000305-65-2	93
0,30	1-Docosene	001599-67-3	93
0,29	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	95
0,28	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,27	Heptadecane	000629-78-7	94
0,26	Benzene, 1,1'-(1,2-dimethyl-1,2-ethenediyl)bis-, (E)-	000782-06-9	91
0,26	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	90
0,24	cis-Stilbene	000645-49-8	95
0,24	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	97
0,23	Benzene, 1,1'-cyclopropylidenebis-	003282-18-6	90
0,23	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	96
0,23	Dichloroacetic acid, heptadecyl ester	1000282-98-2	94
0,22	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	95
0,21	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	91
0,21	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	93
0,21	Tetradecane	000629-59-4	95
0,21	Eicosane	000112-95-8	98
0,19	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	98
0,18	Hexadecanoic acid, methyl ester	000112-39-0	95
0,17	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	000541-02-6	91
0,17	Octadecane	000593-45-3	93

0,16	17-Pentatriacontene	006971-40-0	91
0,15	1-Dodecene	000112-41-4	95
0,14	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	95
0,14	cis-1-Chloro-9-octadecene	016507-61-2	95
0,14	Heneicosane	000629-94-7	90
0,13	Undecane	001120-21-4	94
0,13	Dodecane	000112-40-3	95
0,12	Naphthalene	000091-20-3	94
0,12	17-Pentatriacontene	006971-40-0	91
0,12	Tetrapentacontane, 1,54-dibromo-	1000156-09-4	90
0,10	Cyclohexene, 4-ethenyl-	000100-40-3	94
0,10	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	95
0,10	D-Limonene	005989-27-5	93
0,10	Naphthalene, 1-methyl-	000090-12-0	93
0,09	Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	000535-77-3	94
0,09	Benzene, (1-ethyl-2-propenyl)-	019947-22-9	94
0,09	1,1':3',1''-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	99
0,08	Benzene, 1-methyl-2-(2-propenyl)-	001587-04-8	95
0,08	Phenol, 2,4-dibromo-	000615-58-7	94
0,07	Benzene, (1-methyl-1-butenyl)-	053172-84-2	95
0,07	4-n-Hexylthiane, S,S-dioxide	070928-52-8	95
0,06	p-Xylene	000106-42-3	94
0,06	Benzene, pentyl-	000538-68-1	90
0,05	Phenol, 2,4,6-trimethyl-	000527-60-6	94
0,03	Benzene, 1-methyl-2-(2-propenyl)-	001587-04-8	95

**Vapor condensado A Ensaio 28**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
12,13	Styrene	000100-42-5	95
4,45	Ethylbenzene	000100-41-4	91
3,52	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
2,83	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
2,57	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
2,48	Toluene	000108-88-3	91
1,16	Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)bis-	000080-05-7	95
0,93	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	91
0,87	Caprolactam	000105-60-2	95
0,83	Caprolactam	000105-60-2	95
0,60	Phenol	000108-95-2	90
0,60	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,50	Tetracyclo[4.2.1.0(3,7).0(2,9)]non-4-ene, 4-phenyl-	1000164-30-3	93
0,48	Nonadecane	000629-92-5	93
0,47	Benzenecarboxylic acid	000065-85-0	90
0,45	Heneicosane	000629-94-7	95
0,43	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	95
0,43	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	98
0,42	1-Heptadecene	006765-39-5	96
0,39	1-Pentadecene	013360-61-7	97
0,38	Pentadecane	000629-62-9	96
0,36	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,36	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99

0,33	1-Pentadecene	013360-61-7	92
0,33	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	90
0,33	m-Terphenyl	000092-06-8	93
0,31	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98
0,29	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	94
0,28	Phenol, 2,6-dimethyl-	000576-26-1	98
0,27	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	95
0,26	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	95
0,25	Hexadecane	000544-76-3	96
0,25	1-Octadecene	000112-88-9	93
0,24	Tetradecane	000629-59-4	96
0,24	Heptadecane	000629-78-7	98
0,24	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	93
0,24	3-Eicosene, (E)-	074685-33-9	91
0,23	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	96
0,23	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	94
0,22	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98
0,22	(E)-Stilbene	000103-30-0	95
0,22	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,18	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-	074663-91-5	91
0,18	Heptafluorobutanoic acid, heptadecyl ester	1000282-97-3	90
0,17	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	94
0,16	Benzene, 1-ethenyl-2-methyl-	000611-15-4	94
0,16	Dodecane	000112-40-3	95
0,16	Sulfurous acid, butyl tetradecyl ester	1000309-18-1	90
0,16	1,1':3',1"-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	99
0,15	Undecane	001120-21-4	91
0,15	Cyclopropane, 1-methyl-2-octyl-	037617-26-8	94
0,14	Hexadecanoic acid, methyl ester	000112-39-0	94
0,13	Tricyclo[5.2.1.0(2,6)]decane, 3-methylene-4-phenyl-	1000150-37-1	95
0,12	Benzene, 2-ethenyl-1,4-dimethyl-	002039-89-6	96
0,11	Decane	000124-18-5	93
0,10	1H-Indene, 2,3-dihydro-1,2-dimethyl-	017057-82-8	91
0,10	Phenol, 2,4,6-trimethyl-	000527-60-6	93
0,09	Benzene, pentyl-	000538-68-1	93
0,09	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	98
0,07	D-Limonene	005989-27-5	92
0,07	Naphthalene, 2-methyl-	000091-57-6	94

**Vapor condensado A Ensaio 29**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
20,98	Styrene	000100-42-5	95
3,61	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
3,61	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	94
3,46	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
3,01	Toluene	000108-88-3	91
2,84	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,69	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
2,12	Caprolactam	000105-60-2	95
1,63	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91

1,23	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	97
1,06	D-Limonene	005989-27-5	95
1,00	1-Decene	000872-05-9	90
0,70	1-Tridecene	002437-56-1	99
0,65	3-Tetradecene, (Z)-	041446-67-7	97
0,61	1-Pentadecene	013360-61-7	98
0,59	Cyclohexadecane	000295-65-8	94
0,56	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	97
0,53	8-Heptadecene	054290-12-9	93
0,50	1-Nonadecene	018435-45-5	94
0,49	1-Heptadecene	006765-39-5	99
0,46	Nonadecane	000629-92-5	94
0,44	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	93
0,43	2-Dodecene, (Z)-	007206-26-0	96
0,42	1-Heptadecanol	001454-85-9	91
0,40	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	96
0,40	Phthalic acid, isobutyl nonyl este	1000309-04-4	90
0,39	Biphenyl	000092-52-4	94
0,33	Pentadecane	000629-62-9	95
0,31	Tetradecane	000629-59-4	94
0,29	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,28	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	93
0,28	Heptadecane	000629-78-7	97
0,28	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,26	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propan	001520-44-1	96
0,23	Benzene, (1-ethyl-2-propenyl)-	019947-22-9	94
0,22	Dodecane	000112-40-3	94
0,21	Phenol, 2,6-dimethyl-	000576-26-1	96
0,19	10-Methylnonadecane	056862-62-5	90
0,16	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	97
0,15	(E)-Stilbene	000103-30-0	96
0,15	Hexadecanoic acid, methyl ester	000112-39-0	95
0,14	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	94
0,13	1,2-Diphenylcyclopropane	029881-14-9	93

**Vapor condensado A Ensaio 30**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
16,97	Styrene	000100-42-5	95
2,68	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,59	Toluene	000108-88-3	91
2,28	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
2,26	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	91
1,95	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
1,28	Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)bis-	000080-05-7	98
1,04	Phenol	000108-95-2	91
0,88	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	94
0,77	Benzene, 1,1'-(1,2-dimethyl-1,2-ethenediyl)bis-, (E)-	000782-06-9	93
0,74	1-Pentadecene	013360-61-7	97
0,67	1-Tridecene	002437-56-1	91
0,66	3-Tetradecene, (Z)-	041446-67-7	97

0,63	Naphthalene	000091-20-3	94
0,60	1-Heptadecene	006765-39-5	99
0,58	Caprolactam	000105-60-2	93
0,58	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	95
0,57	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-	074663-91-5	91
0,57	1-Hexadecene	000629-73-2	95
0,52	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,51	Nonadecane	000629-92-5	96
0,51	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,50	1-Octadecene	000112-88-9	96
0,46	Biphenyl	000092-52-4	96
0,46	Pentadecane	000629-62-9	96
0,44	1-Dodecene	000112-41-4	96
0,38	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	000084-69-5	90
0,37	Naphthalene, 2-phenyl-	000612-94-2	93
0,33	Hexadecane	000544-76-3	96
0,33	Dodecane	000112-40-3	93
0,33	2-Chloropropionic acid, octadecylester	088104-31-8	94
0,32	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	90
0,32	1-Nonadecene	018435-45-5	94
0,31	Heptadecane	000629-78-7	98
0,30	Diphenylmethane	000101-81-5	97
0,30	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	99
0,28	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	94
0,27	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,27	Tetradecane	000629-59-4	96
0,27	(R)-(-)-(Z)-14-Methyl-8-hexadecen-1-ol	030689-78-2	91
0,27	Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	005129-60-2	97
0,25	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	95
0,25	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,25	cis-Stilbene	000645-49-8	98
0,25	Heptacosane, 1-chloro-	062016-79-9	90
0,22	Dodecane	000112-40-3	95
0,22	1-Nonadecene	018435-45-5	91
0,20	Undecane	001120-21-4	94
0,20	Naphthalene, 1-methyl-	000090-12-0	97
0,20	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,20	Phenol, 4-(1-methyl-1-phenylethyl)	000599-64-4	90
0,20	1H-Indene, 1-(phenylmethylene)-	005394-86-5	95
0,19	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	96
0,19	Eicosane	000112-95-8	96
0,18	Decane	000124-18-5	93
0,18	Phenol, 2,6-dimethyl-	000576-26-1	95
0,17	Benzene, (1-methylenebutyl)-	005676-32-4	97
0,15	p-Xylene	000106-42-3	94
0,15	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	93
0,15	D-Limonene	005989-27-5	92
0,15	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	93
0,14	Indene	000095-13-6	94
0,14	Phenanthrene	000085-01-8	95
0,10	Benzene, 2-ethenyl-1,4-dimethyl-	002039-89-6	92
0,10	4a,9a-Methano-9H-fluorene	019540-84-2	92



0,08	1,1':3',1"-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	96
0,07	Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	000099-87-6	93

**Vapor condensado A Ensaio 31**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
14,47	Styrene	000100-42-5	95
2,75	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
2,69	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
2,66	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	95
2,54	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,41	Toluene	000108-88-3	91
0,92	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,84	Caprolactam	000105-60-2	95
0,66	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	94
0,59	Hexadecane	000544-76-3	93
0,57	Phenol	000108-95-2	90
0,52	D-Limonene	005989-27-5	95
0,48	Cyclobutane, 1-butyl-2-ethyl-	1000150-67-3	90
0,47	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,45	1-Heptadecene	006765-39-5	98
0,45	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	94
0,45	Hexadecane	000544-76-3	92
0,44	Naphthalene	000091-20-3	95
0,44	1-Nonadecene	018435-45-5	96
0,43	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,43	1-Pentadecene	013360-61-7	99
0,41	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	98
0,40	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	97
0,40	1-Hexadecene	000629-73-2	96
0,40	Heptadecane	000629-78-7	95
0,39	Pentadecane	000629-62-9	96
0,39	Octacosane	000630-02-4	91
0,38	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	95
0,38	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	95
0,37	1-Tricosene	018835-32-0	99
0,35	Heneicosane	000629-94-7	98
0,34	Heptadecane	000629-78-7	98
0,33	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	99
0,31	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,30	1-Tetradecene	001120-36-1	98
0,29	m-Terphenyl	000092-06-8	94
0,28	Dichloroacetic acid, heptadecyl ester	1000282-98-2	94
0,27	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	93
0,27	Hexadecane	000544-76-3	96
0,26	Tetradecane	000629-59-4	96
0,26	Eicosane	000112-95-8	98
0,25	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.alpha.)-	001795-27-3	93
0,23	(E)-Stilbene	000103-30-0	96

0,22	Benzene, 1,1'-(1-butenylidene)bis-	001726-14-3	93
0,22	Dibenzo[a,e]cyclooctene	000262-89-5	96
0,22	Sulfurous acid, butyl heptadecyl ester	1000309-18-4	91
0,21	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	98
0,20	1-Dodecene	000112-41-4	95
0,20	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	95
0,20	1-Pentadecanethiol	025276-70-4	95
0,19	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	94
0,19	1,2,3,3a,4,5,7,8,9,10,11,12,12a-Tetradecahydrobenzo[a]pyrene	095676-40-7	91
0,18	Undecane	001120-21-4	94
0,18	1H-Pyrrolo[2,3-b]pyridine, 4-methyl-2-phenyl-	023688-50-8	91
0,18	Hexadecane	000544-76-3	91
0,17	Dodecane	000112-40-3	95
0,15	Benzene, 1-propenyl-	000637-50-3	93
0,15	Phenol, 2,6-dimethyl-	000576-26-1	97
0,15	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	93
0,15	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	96
0,15	Hexadecanoic acid, methyl ester	000112-39-0	93
0,15	1,1':3',1''-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	99
0,14	Diphenylmethane	000101-81-5	94
0,13	Benzene, 2-butenyl-	001560-06-1	91
0,12	Phenanthrene	000085-01-8	96
0,11	Tetrapentacontane, 1,54-dibromo-	1000156-09-4	93
0,09	3,4-Dimethylanisole	004685-47-6	94
0,07	p-Xylene	000106-42-3	95
0,07	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	92
0,06	1,2,4,4-Tetramethylcyclopentene	065378-76-9	90
0,05	Benzene, 1,2,4-trimethyl-	000095-63-6	92

### Vapor condensado A Ensaio 32

% da área do cromatograma	Nome do composto	CAS	Faixa de correspondência (%)
16,01	Styrene	000100-42-5	95
3,09	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
2,50	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,48	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	95
2,33	Toluene	000108-88-3	91
2,30	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
2,04	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
0,91	Phenol	000108-95-2	91
0,73	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	94
0,72	1-Octene, 3,7-dimethyl-	004984-01-4	90
0,62	1-Pentadecene	013360-61-7	96
0,61	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	95
0,59	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98
0,58	1-Heptadecene	006765-39-5	98
0,56	Caprolactam	000105-60-2	93
0,56	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	96
0,53	Cyclotetradecane	000295-17-0	90
0,53	3-Tetradecene, (Z)-	041446-67-7	97
0,52	Nonadecane	000629-92-5	93

0,51	1-Octadecene	000112-88-9	95
0,51	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,48	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	97
0,40	Cyclopropane, nonyl-	074663-85-7	90
0,39	Naphthalene	000091-20-3	94
0,39	Heneicosane	000629-94-7	96
0,36	Pentadecane	000629-62-9	96
0,36	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	97
0,35	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	95
0,34	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,33	D-Limonene	005989-27-5	95
0,33	Heptadecane	000629-78-7	98
0,32	1-Dodecene	000112-41-4	96
0,32	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,31	Hexadecane	000544-76-3	92
0,30	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,28	m-Terphenyl	000092-06-8	95
0,27	Hexadecane	000544-76-3	98
0,26	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	95
0,26	cis-Stilbene	000645-49-8	97
0,25	Benzene, 1,1'-(1,2-dimethyl-1,2-ethenediyl)bis-, (E)-	000782-06-9	92
0,25	1-Hexadecene	000629-73-2	92
0,23	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	95
0,23	Methanol, oxo-, benzoate	1000305-65-2	94
0,23	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	96
0,23	17-Pentatriacontene	006971-40-0	91
0,22	Tetradecane	000629-59-4	96
0,22	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	96
0,22	Phenol, 4-(1-methyl-1-phenylethyl)	000599-64-4	91
0,21	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	95
0,21	Naphthalene, 1-phenyl-	000605-02-7	96
0,21	Eicosane	000112-95-8	98
0,20	Benzene, 1-propenyl-	000637-50-3	94
0,20	Bicyclo[2.2.1]heptane-2,5-dione, 1,7,7-trimethyl-	004230-32-4	91
0,20	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	95
0,20	Hexadecanoic acid, methyl ester	000112-39-0	97
0,18	2-Chloroethyl benzoate	000939-55-9	90
0,17	Dodecane	000112-40-3	95
0,16	Benzene, (1-methylenebutyl)-	005676-32-4	90
0,16	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	93
0,16	17-Pentatriacontene	006971-40-0	93
0,15	Undecane	001120-21-4	91
0,14	p-Xylene	000106-42-3	95
0,14	Decane	000124-18-5	93
0,14	Phenol, 2,6-dimethyl-	000576-26-1	95
0,13	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	96
0,12	Naphthalene, 1-methyl-	000090-12-0	97
0,12	Tricyclo[5.2.1.0(2,6)]decane, 3-methylene-4-phenyl-	1000150-37-1	92
0,10	Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	000099-87-6	95
0,09	Indene	000095-13-6	94
0,09	3,4-Dimethylanisole	004685-47-6	93
0,09	Anthracene, 1-methyl-	000610-48-0	90
0,09	Bicyclo[2.2.1]heptane-2,5-dione, 1,7,7-trimethyl-	004230-32-4	93

0,08	Benzene, 2-butenyl-	001560-06-1	92
0,08	Cyclohexadecane	000295-65-8	90
0,08	1,1':3',1"-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	99
0,07	Naphthalene, 1,4,6-trimethyl-	002131-42-2	93
0,07	Cyclopentane, decyl-	001795-21-7	90
0,06	Cyclohexene, 4-ethenyl-	000100-40-3	94
0,06	Benzene, pentyl-	000538-68-1	94
0,05	Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-	001195-32-0	93
0,04	Benzene, 1,2,4-trimethyl-	000095-63-6	91

**Vapor condensado A Ensaio 34**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
10,21	Styrene	000100-42-5	95
4,66	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
4,60	Ethylbenzene	000100-41-4	91
3,83	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
3,57	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	95
2,71	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	93
2,07	Toluene	000108-88-3	91
1,02	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,99	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	95
0,96	Caprolactam	000105-60-2	95
0,77	Benzene, 1,1'-(1,2-dimethyl-1,2-ethenediyl)bis-, (E)-	000782-06-9	91
0,76	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	98
0,70	Nonadecane	000629-92-5	96
0,60	1-Heptadecene	006765-39-5	98
0,55	1-Tridecene	002437-56-1	93
0,55	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	98
0,54	1-Pentadecene	013360-61-7	98
0,53	1,2-Benzenedicarbonitrile	000091-15-6	90
0,50	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	97
0,49	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,46	Cycloeicosane	000296-56-0	98
0,45	Naphthalene	000091-20-3	95
0,45	Hexadecane	000544-76-3	92
0,44	Heptadecane	000629-78-7	97
0,43	3-Tetradecene, (Z)-	041446-67-7	97
0,42	1-Octadecene	000112-88-9	98
0,41	Naphthalene, 2-phenyl-	000612-94-2	94
0,38	Pentadecane	000629-62-9	96
0,38	Hexadecanoic acid, methyl ester	000112-39-0	97
0,35	Tetradecane	000629-59-4	95
0,34	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	93
0,34	Benzene, 1,1'-(1-butenylidene)bis-	001726-14-3	91
0,34	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,32	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	94
0,31	Phenol, 2,6-dimethyl-	000576-26-1	95
0,31	Tetratetracontane	007098-22-8	90
0,30	Eicosane	000112-95-8	97
0,30	1-Nonadecene	018435-45-5	94
0,29	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	95

0,28	Octadecane	000593-45-3	98
0,27	1-Dodecene	000112-41-4	92
0,27	p-Terphenyl	000092-94-4	93
0,27	1-Octadecanol	000112-92-5	91
0,26	(E)-Stilbene	000103-30-0	97
0,25	Dodecane	000112-40-3	93
0,25	1,4-Ethenoanthracene, 1,4-dihydro-	027765-96-4	93
0,24	Decane	000124-18-5	93
0,22	Benzene, 1,1'-cyclopropylidenebis-	003282-18-6	92
0,20	Naphthalene, 2-methyl-	000091-57-6	95
0,19	Biphenyl	000092-52-4	93
0,17	1,1':3',1''-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	98
0,15	1,1'-Biphenyl, 4-methyl-	000644-08-6	95
0,14	Benzene, 1-ethenyl-2-methyl-	000611-15-4	92
0,14	Phenol, 2,3,5-trimethyl-	000697-82-5	94
0,14	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl	003018-20-0	96
0,14	Phenanthrene	000085-01-8	94
0,12	Naphthalene, 2,6-dimethyl-	000581-42-0	94
0,11	1-Pentadecanethiol	025276-70-4	94
0,10	Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, (S)-	005989-54-8	92

**Vapor condensado B Ensaio 1**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
44,57	2-Propenoic acid, 2-methyl-, hexylester	000142-09-6	78
40,69	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90

**Vapor condensado B Ensaio 2**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
26,40	Styrene	000100-42-5	95
14,20	Ethylbenzene	000100-41-4	94
13,62	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
11,46	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90

**Vapor condensado B Ensaio 3**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
39,58	Styrene	000100-42-5	95
11,72	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
7,58	Ethylbenzene	000100-41-4	94
7,26	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
1,69	2-Propenoic acid, 2-methyl-, methyl ester	000080-62-6	91
1,43	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	95
0,95	Cycloheptasiloxane, tetradecamethyl-	000107-50-6	93
0,71	D-Limonene	005989-27-5	95

--

**Vapor condensado B Ensaio 4**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
31,74	Toluene	000108-88-3	94
20,99	Styrene	000100-42-5	96
15,11	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
9,61	Ethylbenzene	000100-41-4	94
8,16	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
1,92	1,3-Pentadiene, 2,3-dimethyl-	001113-56-0	94

**Vapor condensado B Ensaio 5**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
33,01	Styrene	000100-42-5	96
12,83	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
7,27	Ethylbenzene	000100-41-4	94
6,16	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
3,36	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	97
1,37	2-Octene, (Z)-	007642-04-8	91
0,76	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,74	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	96
0,43	1-Decene	000872-05-9	93
0,37	D-Limonene	005989-27-5	94

**Vapor condensado B Ensaio 6**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
22,82	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
18,63	Toluene	000108-88-3	90
15,96	Styrene	000100-42-5	95
8,60	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
6,16	Ethylbenzene	000100-41-4	94
1,71	1,3-Pentadiene, 2,4-dimethyl-	001000-86-8	93

**Vapor condensado B Ensaio 7**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
76,50	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
17,99	Toluene	000108-88-3	90

**Vapor condensado B Ensaio 8**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
18,07	Styrene	000100-42-5	96
5,45	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90

2,86	Toluene	000108-88-3	90
2,42	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	92
1,21	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
1,00	Cyclododecane	000294-62-2	90
0,95	Bicyclo[2.2.1]hept-5-ene-2-carbonitrile	000095-11-4	94
0,90	Naphthalene	000091-20-3	95
0,88	Eicosane	000112-95-8	97
0,87	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	91
0,82	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
0,55	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	97
0,55	Eicosane	000112-95-8	97
0,53	Hexadecane	000544-76-3	96
0,46	Naphthalene, 2-methyl-	000091-57-6	96
0,43	Biphenyl	000092-52-4	96
0,43	Octadecane	000593-45-3	97
0,42	2-Dodecene, (Z)-	007206-26-0	97
0,41	1-Octadecene	000112-88-9	98
0,40	Naphthalene, 1-methyl-	000090-12-0	96
0,39	3-Tetradecene, (E)-	041446-68-8	97
0,38	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,35	3-Eicosene, (E)-	074685-33-9	95
0,32	Heptadecane	000629-78-7	97
0,31	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,30	Hexadecane	000544-76-3	97
0,29	Indene	000095-13-6	95
0,29	Nonadecane	000629-92-5	96
0,29	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,27	Benzene, 1,1'-(2-methyl-1-propenylidene)bis-	000781-33-9	91
0,25	Cyclononasiloxane, octadecamethyl-	000556-71-8	91
0,25	1-Docosene	001599-67-3	98
0,23	Tetradecane	000629-59-4	94
0,22	Benzene, (1-methyl-2-cyclopropen-1-yl)-	065051-83-4	97
0,22	Heptadecane	000629-78-7	96
0,22	Heneicosane	000629-94-7	97
0,22	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	90
0,20	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	94
0,20	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,19	Ethylbenzene	000100-41-4	93
0,19	Cycloheptasiloxane, tetradecamethyl-	000107-50-6	93
0,18	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,18	Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 2-methyl	000694-92-8	90
0,17	Benzene, 1-ethenyl-3-methyl-	000100-80-1	96
0,17	Tricosane	000638-67-5	94
0,16	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	96
0,15	Cycloprop[a]indene, 1,1a,6,6a-tetrahydro-	015677-15-3	91
0,15	Naphthalene, 2,7-dimethyl-	000582-16-1	95
0,14	Undecane	001120-21-4	94
0,14	1,13-Tetradecadiene	021964-49-8	95
0,13	Oxirane, hexadecyl-	007390-81-0	90
0,11	E-2-Tetradecen-1-ol	1000130-83-7	96
0,11	1-Nonadecene	018435-45-5	92
0,09	1-Nonadecene	018435-45-5	96

**Vapor condensado B Ensaio 9**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
23,37	Styrene	000100-42-5	96
14,18	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
9,23	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
4,81	Ethylbenzene	000100-41-4	94

**Vapor condensado B Ensaio 10**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
28,71	Styrene	000100-42-5	95
13,94	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
9,39	Ethylbenzene	000100-41-4	94
8,26	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
3,16	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
1,34	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
0,88	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,68	1-Decene	000872-05-9	93
0,52	1-Pentadecene	013360-61-7	99
0,40	2-Dodecene, (Z)-	007206-26-0	97
0,39	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,38	D-Limonene	005989-27-5	96
0,38	1-Pentadecene	013360-61-7	98
0,37	3-Tetradecene, (E)-	041446-68-8	97
0,34	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98
0,30	2-Octene	000111-67-1	91

**Vapor condensado B Ensaio 11**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
17,85	Styrene	000100-42-5	96
11,61	Ethylbenzene	000100-41-4	94
8,15	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
5,22	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
2,41	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
2,29	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
1,86	Eicosane	000112-95-8	92
1,50	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
1,19	1-Heptadecene	006765-39-5	99
1,13	2-Octene, (E)-	013389-42-9	90
0,98	Naphthalene	000091-20-3	95
0,57	Nonadecane	000629-92-5	98
0,55	1-Decene	000872-05-9	90
0,55	Heptadecane	000629-78-7	94
0,43	1-Tridecene	002437-56-1	92
0,43	Octadecane	000593-45-3	95
0,42	Heneicosane	000629-94-7	97



0,39	Hexadecane	000544-76-3	96
0,36	Tetradecane	000629-59-4	95
0,35	1-Hexadecene	000629-73-2	95
0,34	3-Tetradecene, (E)-	041446-68-8	95
0,32	1-Dodecene	000112-41-4	93
0,30	1,3-Pentadiene, 2,4-dimethyl-	001000-86-8	95
0,30	3-Octadecene, (E)-	007206-19-1	97

**Vapor condensado B Ensaio 12**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
37,66	Styrene	000100-42-5	96
8,44	Ethylbenzene	000100-41-4	94
7,71	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
5,72	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
4,82	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
0,93	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
0,63	Naphthalene	000091-20-3	95
0,59	1-Pentadecene	013360-61-7	98
0,42	1-Tridecene	002437-56-1	99
0,40	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	93
0,39	Bicyclo(2.2.1)hept-5-ene-2-carbonitrile, endo-	002888-90-6	91
0,37	2-Dodecene, (E)-	007206-13-5	94
0,35	7-Hexadecene, (Z)-	035507-09-6	97

**Vapor condensado B Ensaio 13**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
30,81	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
8,15	Styrene	000100-42-5	96
5,04	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90

**Vapor condensado B Ensaio 14**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
33,19	Styrene	000100-42-5	96
11,90	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
10,85	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
7,05	Ethylbenzene	000100-41-4	94
1,93	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	95
0,95	Decane	000124-18-5	91
0,56	Undecane	001120-21-4	91
0,48	D-Limonene	005989-27-5	95

**Vapor condensado B Ensaio 15**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
25,97	Styrene	000100-42-5	96
10,02	Toluene	000108-88-3	91
6,66	Ethylbenzene	000100-41-4	94
3,76	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	97
3,58	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
2,65	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
2,22	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	95
1,73	3-Octadecene, (E)-	007206-19-1	90
1,46	1-Decene	000872-05-9	93
1,37	Naphthalene	000091-20-3	95
1,19	o-Xylene	000095-47-6	97
0,90	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
0,82	Eicosane	000112-95-8	96
0,80	Naphthalene, 2-methyl-	000091-57-6	96
0,75	1-Pentadecene	013360-61-7	98
0,74	Cycloheptasiloxane, tetradecamethyl-	000107-50-6	90
0,74	1-Octadecene	000112-88-9	99
0,73	Tridecane	000629-50-5	92
0,73	Hexadecane	000544-76-3	95
0,73	Eicosane	000112-95-8	93
0,72	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,72	Indene	000095-13-6	97
0,67	7-Hexadecene, (Z)-	035507-09-6	98
0,65	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,59	Naphthalene, 1-methyl-	000090-12-0	96
0,58	Hexadecane	000544-76-3	96
0,57	Octadecane	000593-45-3	96
0,57	Hexadecane	000544-76-3	96
0,56	3-Tetradecene, (E)-	041446-68-8	94
0,53	2-Dodecene, (Z)-	007206-26-0	91
0,53	4-Dodecene, (E)-	007206-15-7	93
0,52	Biphenyl	000092-52-4	94
0,52	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,51	Heptadecane	000629-78-7	96
0,48	Tetradecane	000629-59-4	93
0,46	Eicosane	000112-95-8	97
0,41	Z-5-Nonadecene	1000131-11-8	99
0,38	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	95
0,38	Benzene, 1,1'-(1-butenylidene)bis-	001726-14-3	97
0,37	1H-Indene, 1-methyl-	000767-59-9	96
0,37	Eicosane	000112-95-8	94
0,31	Dodecane	000112-40-3	93
0,28	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	92
0,28	Eicosane	000112-95-8	94
0,27	Heneicosane	000629-94-7	97
0,27	1-Docosene	001599-67-3	95
0,26	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,25	Undecane	001120-21-4	93
0,24	D-Limonene	005989-27-5	94
0,22	9-Tricosene, (Z)-	027519-02-4	96

--

**Vapor condensado B Ensaio 16**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
24,44	Styrene	000100-42-5	96
10,99	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
9,59	Ethylbenzene	000100-41-4	94
7,21	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
3,34	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	94
1,29	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,78	Decane	000124-18-5	91
0,65	1,3-Pentadiene, 2,4-dimethyl-	001000-86-8	94

**Vapor condensado B Ensaio 17**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
33,71	Styrene	000100-42-5	95
21,65	Toluene	000108-88-3	91
9,90	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	91
5,38	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,02	Nonane	000111-84-2	91
1,78	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
1,19	Decane	000124-18-5	94
1,17	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	95
0,79	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
0,77	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	95
0,65	cis-1-Butyl-2-methylcyclopropane	038851-69-3	91
0,65	Undecane	001120-21-4	91
0,63	D-Limonene	005989-27-5	95
0,59	Cyclohexane, propyl-	001678-92-8	91
0,51	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	90
0,48	Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	000620-14-4	94
0,80	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	94

**Vapor condensado B Ensaio 18**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
27,24	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
7,47	Styrene	000100-42-5	96
4,23	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90

**Vapor condensado B Ensaio 19**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
59,52	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
36,37	2-Pentanol, 4-methyl-	000108-11-2	78

--	--	--	--

**Vapor condensado B Ensaio 20**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
46,52	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
41,52	2-Pentanol, 4-methyl-	000108-11-2	78
11,96	Toluene	000108-88-3	87

**Vapor condensado B Ensaio 21**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
39,58	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
4,04	Styrene	000100-42-5	94
1,48	4-Heptanone, 2,6-dimethyl-	000108-83-8	91
1,46	Toluene	000108-88-3	90

**Vapor condensado B Ensaio 22**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
50,18	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90

**Vapor condensado B Ensaio 23**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
26,20	Styrene	000100-42-5	95
12,74	Toluene	000108-88-3	90
9,03	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
8,07	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
5,86	Ethylbenzene	000100-41-4	91
3,27	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
0,95	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	95
0,68	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	96
0,66	1-Decene	000872-05-9	93
0,62	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	000541-02-6	91
0,59	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	93
0,50	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	91
0,16	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	000556-67-2	90
0,14	Limonene	000138-86-3	94
0,14	Pentafluoropropionic acid, undecylester	1000283-04-0	95
0,12	Phenol, 3-(1-methylethyl)-	000618-45-1	91
0,11	1-Heptadecanol	001454-85-9	90
0,10	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	91

**Vapor condensado B Ensaio 24**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
28,61	Styrene	000100-42-5	95
7,23	Toluene	000108-88-3	91
4,26	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
4,08	Ethylbenzene	000100-41-4	91
3,19	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
1,87	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	95
1,32	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
0,91	Phenol	000108-95-2	91
0,85	Cyclobutane, 1-butyl-2-ethyl-	1000150-67-3	90
0,77	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
0,66	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	94
0,61	D-Limonene	005989-27-5	95
0,52	p-Xylene	000106-42-3	94
0,52	Naphthalene	000091-20-3	95
0,49	1-Tridecene	002437-56-1	98
0,46	Caprolactam	000105-60-2	94
0,44	1-Pentadecene	013360-61-7	98
0,43	Biphenyl	000092-52-4	96
0,41	3-Tetradecene, (Z)-	041446-67-7	97
0,40	1-Octene	000111-66-0	90
0,39	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	98
0,35	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,33	1-Dodecene	000112-41-4	96
0,33	1-Nonadecene	018435-45-5	91
0,30	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	95
0,30	Pentadecane	000629-62-9	96
0,30	1-Octadecene	000112-88-9	99
0,30	1-Heptadecene	006765-39-5	97
0,29	Undecane	001120-21-4	94
0,28	Benzene, propyl-	000103-65-1	91
0,28	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,27	1,2-Diphenylcyclopropane	029881-14-9	97
0,26	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	96
0,25	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	95
0,25	Indene	000095-13-6	97
0,24	Benzene, (1-methylenebutyl)-	005676-32-4	92
0,22	Decane	000124-18-5	94
0,22	1H-Indene, 1-methyl-	000767-59-9	95
0,21	Tetradecane	000629-59-4	94
0,20	Hexadecane	000544-76-3	97
0,20	Heptadecane	000629-78-7	96
0,20	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	93
0,20	3-Eicosene, (E)-	074685-33-9	91
0,18	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	95
0,18	Phenol, 2,6-dimethyl-	000576-26-1	95
0,18	Naphthalene, 1-methyl-	000090-12-0	96
0,18	1-Cyclohexylnonene	114614-84-5	90
0,17	Benzophenone	000119-61-9	92
0,17	Tritetracontane	007098-21-7	91
0,17	Eicosane	000112-95-8	96
0,16	Dodecane	000112-40-3	95

0,16	Benothiazole, 2-(methylthio)-	000615-22-5	96
0,16	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	94
0,16	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	99
0,14	1,1'-Biphenyl, 4-methyl-	000644-08-6	95
0,13	Cyclohexane, 1,2,4-trimethyl-, (1.alpha.,2.beta.,4.beta.)-	007667-60-9	94
0,12	Naphthalene, 1,2-dihydro-	000447-53-0	93
0,12	Fluorene	000086-73-7	95
0,12	cis-Stilbene	000645-49-8	97
0,12	Dichloroacetic acid, heptadecyl ester	1000282-98-2	95
0,11	Phenol, 4-ethyl-	000123-07-9	93
0,10	Phenanthrene	000085-01-8	95
0,10	Dibenzo[a,e]cyclooctene	000262-89-5	95
0,10	Eicosane	000112-95-8	95
0,10	1H-Pyrrolo[2,3-b]pyridine, 4-methyl-2-phenyl-	023688-50-8	91
0,10	p-Terphenyl	000092-94-4	96
0,09	1,5,5-Trimethyl-6-methylene-cyclohexene	000514-95-4	93
0,09	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,2-ethanediyl)bis-	005814-85-7	93
0,09	Benzene, 1,1'-cyclopropylidenebis-	003282-18-6	91
0,08	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	000611-14-3	93
0,08	Naphthalene, 1-ethyl-	001127-76-0	95
0,08	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,08	1,19-Eicosadiene	014811-95-1	91
0,07	Benzene, 1,3,5-trimethyl-	000108-67-8	90
0,07	Benzene, 1-methyl-2-(2-propenyl)-	001587-04-8	91
0,07	4a,9a-Methano-9H-fluorene	019540-84-2	90
0,05	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-	001795-26-2	93

**Vapor condensado B Ensaio 26**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
12,24	Styrene	000100-42-5	96
10,30	Toluene	000108-88-3	90
5,66	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
3,35	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,55	Cycloheptasiloxane, tetradecamethyl-	000107-50-6	90
1,67	Nonane	000111-84-2	91
1,64	Diethyl Phthalate	000084-66-2	97
1,57	Nonadecane	000629-92-5	97
1,43	Decane	000124-18-5	94
1,41	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
1,41	Octadecane	000593-45-3	98
1,36	Heptadecane	000629-78-7	98
1,27	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	91
1,10	D-Limonene	005989-27-5	95
0,96	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	97
0,93	Eicosane	000112-95-8	98
0,83	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	95
0,79	Hexadecane	000544-76-3	97
0,78	p-Xylene	000106-42-3	95

0,77	Undecane	001120-21-4	94
0,71	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
0,68	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
0,62	Cyclohexane, propyl-	001678-92-8	93
0,60	Octane, 2,6-dimethyl-	002051-30-1	94
0,58	Cyclohexane, 1,2,4-trimethyl-	002234-75-5	93
0,58	Naphthalene, 1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-	000483-78-3	97
0,57	2-Octene, (Z)-	007642-04-8	91
0,56	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,54	Phthalic acid, isobutyl octyl este	1000309-04-5	90
0,52	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	000611-14-3	94
0,49	Naphthalene, decahydro-, trans-	000493-02-7	96
0,45	3-Eicosene, (E)-	074685-33-9	90
0,44	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	97
0,43	Octane, 1,1'-oxybis-	000629-82-3	91
0,39	Nonane, 3-methyl-	005911-04-6	91
0,36	Ditetradecyl ether	005412-98-6	91
0,34	Cyclohexane, 1-ethyl-2-methyl-, trans-	004923-78-8	90
0,34	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	97
0,33	Cyclohexane, 1,1,3-trimethyl-	003073-66-3	97
0,31	1-Ethyl-4-methylcyclohexane	003728-56-1	94
0,31	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	000611-14-3	94
0,30	Heneicosane	000629-94-7	99
0,29	Cyclotetradecane	000295-17-0	97
0,26	Cyclohexane, 1,2,4-trimethyl-, (1.alpha.,2.beta.,4.beta.)-	007667-60-9	94
0,22	1-Heptene, 2-methyl-	015870-10-7	90
0,21	Benzene, propyl-	000103-65-1	90
0,18	Naphthalene	000091-20-3	95
0,18	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	94
0,16	Benzene, 1-methyl-3-propyl-	001074-43-7	91
0,14	Tetratriacontane	014167-59-0	91
0,13	Benzene, 2-ethyl-1,4-dimethyl-	001758-88-9	92
0,13	1,3-Cyclopentadiene, 1,2,3,4-tetramethyl-5- methylene-	076089-59-3	93
0,13	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	95
0,12	Naphthalene, decahydro-2-methyl-	002958-76-1	92
0,12	Benzene, 1,2,3,4-tetramethyl-	000488-23-3	93
0,11	Dodecane	000112-40-3	93
0,10	Naphthalene, decahydro-2-methyl-	002958-76-1	91
0,10	Tetradecane	000629-59-4	93
0,09	Cyclododecane	000294-62-2	95
0,09	Tritetracontane	007098-21-7	91
0,05	2-Dodecene, (E)-	007206-13-5	95

**Vapor condensado B Ensaio 27**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
19,37	Toluene	000108-88-3	91
13,83	Styrene	000100-42-5	94
9,93	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
8,32	Ethylbenzene	000100-41-4	91

1,43	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	90
------	-----------------------	-------------	----

**Vapor condensado B Ensaio 28**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
15,33	Styrene	000100-42-5	95
12,13	Methyl Isobutyl Ketone	000108-10-1	90
6,35	Ethylbenzene	000100-41-4	91
6,32	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
1,82	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
0,84	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,59	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
0,56	Decane	000124-18-5	94
0,53	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	97
0,48	Undecane	001120-21-4	91
0,42	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	000084-69-5	90
0,32	4-Heptanone, 2,6-dimethyl-	000108-83-8	91
0,16	1-Undecene	000821-95-4	93

**Vapor condensado B Ensaio 29**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
30,37	Styrene	000100-42-5	95
19,53	Toluene	000108-88-3	91
8,69	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
5,40	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,74	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
2,02	D-Limonene	005989-27-5	95
1,46	1-Octene	000111-66-0	90
1,36	Decane	000124-18-5	94
1,18	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	94
1,15	Nonane	000111-84-2	91
0,83	p-Xylene	000106-42-3	94
0,80	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	90
0,78	Undecane	001120-21-4	91
0,77	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	96
0,74	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	94
0,54	Cyclohexane, 1,2,4-trimethyl-, (1.alpha.,2.beta.,4.beta.)-	007667-60-9	90
0,49	Hexane, 2-methyl-4-methylene-	003404-80-6	91
0,48	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	91
0,42	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	91
0,33	Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	000620-14-4	93
0,26	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	90
0,18	1-Heptadecene	006765-39-5	91
0,17	Pentafluoropropionic acid, pentadecyl ester	1000280-07-5	90
0,14	5-Octadecene, (E)-	007206-21-5	90



**Vapor condensado B Ensaio 30**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
30,44	Styrene	000100-42-5	95
13,75	Toluene	000108-88-3	91
6,60	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,55	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
1,96	Naphthalene	000091-20-3	97
1,77	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	000556-67-2	90
0,77	Decane	000124-18-5	91
0,65	Hexane, 2-methyl-4-methylene-	003404-80-6	91
0,62	Phenanthrene	000085-01-8	93
0,58	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	95
0,56	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	90
0,49	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	000541-02-6	91
0,44	Undecane	001120-21-4	90
0,34	Benzocycloheptatriene	000264-09-5	90

**Vapor condensado B Ensaio 31**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
26,83	Toluene	000108-88-3	91
23,49	Styrene	000100-42-5	96
9,38	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
6,77	Ethylbenzene	000100-41-4	91
2,98	Nonane	000111-84-2	91
2,98	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	000556-67-2	91
2,38	Decane	000124-18-5	94
1,76	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
1,26	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	95
1,22	Undecane	001120-21-4	94
1,07	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	000541-02-6	90
1,04	p-Xylene	000106-42-3	93
0,76	Benzene, 1,3,5-trimethyl-	000108-67-8	93

**Vapor condensado B Ensaio 32**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
19,84	Styrene	000100-42-5	95
7,81	Toluene	000108-88-3	91
4,73	Ethylbenzene	000100-41-4	91
4,23	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
2,50	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	96
1,72	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
1,49	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	95
1,22	4-Undecene, (E)-	000693-62-9	93
0,94	p-Xylene	000106-42-3	95
0,69	1-Heptadecene	006765-39-5	92

0,68	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	041977-37-1	93
0,66	1-Heptadecene	006765-39-5	98
0,65	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	000556-67-2	90
0,64	1-Octene	000111-66-0	91
0,63	1-Pentadecene	013360-61-7	98
0,60	1-Pentadecene	013360-61-7	98
0,55	3-Tetradecene, (Z)-	041446-67-7	97
0,53	1-Hexadecene	000629-73-2	98
0,50	Naphthalene	000091-20-3	95
0,49	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
0,49	Phenol	000108-95-2	90
0,48	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	94
0,46	Pentadecane	000629-62-9	96
0,45	1-Octadecene	000112-88-9	99
0,45	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	004376-20-9	90
0,44	1-Nonadecene	018435-45-5	99
0,44	2-Phenylnaphthalene	035465-71-5	96
0,42	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	97
0,41	5-Eicosene, (E)-	074685-30-6	99
0,40	Heptadecane	000629-78-7	97
0,39	2-Dodecene, (Z)-	007206-26-0	95
0,38	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	98
0,37	Undecane	001120-21-4	95
0,37	Docosane	000629-97-0	94
0,36	D-Limonene	005989-27-5	97
0,36	Biphenyl	000092-52-4	96
0,35	Benzene, (1-methyl-2-cyclopropen-1-yl)-	065051-83-4	93
0,34	Indene	000095-13-6	95
0,33	Decane	000124-18-5	91
0,33	Octadecane	000593-45-3	98
0,33	Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)bis-	000080-05-7	93
0,33	Hexadecane	000544-76-3	96
0,31	Cyclohexane, 1,2,4-trimethyl-, (1.alpha.,2.beta.,4.beta.)-	007667-60-9	90
0,31	Tetradecane	000629-59-4	96
0,30	Heneicosane	000629-94-7	96
0,29	Hexadecane	000544-76-3	97
0,29	10-Heneicosene (c,t)	095008-11-0	95
0,29	Tetratriacontane	014167-59-0	91
0,28	Nonane	000111-84-2	90
0,28	Benzene, 2-propenyl-	000103-65-1	90
0,28	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	98
0,26	Eicosane	000112-95-8	97
0,25	Naphthalene, 1-phenyl-	000605-02-7	96
0,23	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	000541-02-6	91
0,23	p-Terphenyl	000092-94-4	92
0,23	Trifluoroacetic acid, n-octadecylester	079392-43-1	91
0,21	Benzene, 1-propenyl-	000637-50-3	93
0,21	Benzene, 1,1'-(2-methyl-2-propenylidene)bis	070813-56-8	90
0,20	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	94
0,20	Naphthalene, 2-methyl-	000091-57-6	96
0,20	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	99
0,19	Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	000099-87-6	92

0,19	1,1'-Biphenyl, 3-methyl-	000643-93-6	95
0,18	Dodecane	000112-40-3	95
0,18	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	97
0,18	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	93
0,16	1,2-Diphenylethylene	000588-59-0	95
0,15	Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	000620-14-4	94
0,15	Phenanthrene	000085-01-8	96
0,14	1H-Indene, 1-methyl-	000767-59-9	95
0,14	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	93
0,14	1,1':3',1''-Terphenyl, 5'-phenyl-	000612-71-5	98
0,13	Benzene, 2-propenyl-	000300-57-2	91
0,13	Phenanthrene, 4-methyl-	000832-64-4	90
0,12	1,3-Butadiene, 1,4-diphenyl-, (E,E)-	000538-81-8	95
0,11	Eicosane	000112-95-8	96
0,10	Benzene, 1,2,4-trimethyl-	000095-63-6	93
0,10	Naphthalene, 2,6-dimethyl-	000581-42-0	96
0,09	Cycloprop[a]indene, 1,1a,6,6a-tetrahydro-	015677-15-3	92
0,08	Benzene, 1-methyl-3-propyl-	001074-43-7	93
0,08	Naphthalene, 2,3-dimethyl-	000581-40-8	92
0,06	Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-	001195-32-0	93
0,06	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-	000119-64-2	92

**Vapor condensado B Ensaio 33**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
10,92	Styrene	000100-42-5	91
10,20	Nonane	000111-84-2	91
8,68	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	000556-67-2	91
8,49	Toluene	000108-88-3	91
4,89	Cyclohexane, 1,1,3-trimethyl-	003073-66-3	91
4,09	Decane	000124-18-5	91
3,02	Cyclohexane, propyl-	001678-92-8	90
2,86	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	95
2,84	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	000541-02-6	91
2,83	1-Ethyl-4-methylcyclohexane	003728-56-1	91
2,63	Ethylbenzene	000100-41-4	90
2,28	Octane, 3,6-dimethyl-	015869-94-0	90
1,65	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	90
1,60	Cyclohexane, 1,2,4-trimethyl-, (1.alpha.,2.beta.,4.beta.)-	007667-60-9	91
1,04	Undecane	001120-21-4	90

**Vapor condensado B Ensaio 34**

<b>% da área do cromatograma</b>	<b>Nome do composto</b>	<b>CAS</b>	<b>Faixa de correspondência (%)</b>
18,36	Styrene	000100-42-5	95
12,35	Toluene	000108-88-3	91
7,76	Ethylbenzene	000100-41-4	91
4,77	2,4-Dimethyl-1-heptene	019549-87-2	90
2,82	.alpha.-Methylstyrene	000098-83-9	95

1,61	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis	001081-75-0	97
1,53	Benzenebutanenitrile	002046-18-6	95
1,33	Decane	000124-18-5	91
1,31	Caprolactam	000105-60-2	94
1,13	Benzene, (1-methylethyl)-	000098-82-8	94
1,01	Undecane	001120-21-4	94
0,92	Benzene, 1,3,5-trimethyl-	000108-67-8	95
0,74	Nonane	000111-84-2	91
0,66	Phenol, 4-(1-methylethyl)-	000099-89-8	95
0,52	Cyclohexane, butyl-	001678-93-9	93
0,52	1,3-Benzenedicarbonitrile	000626-17-5	90
0,51	4-Octene, (E)-	014850-23-8	91
0,51	Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	000620-14-4	95
0,51	Phthalic acid, isobutyl nonyl este	1000309-04-4	90
0,47	p-Xylene	000106-42-3	95
0,45	Octane, 2,6-dimethyl-	002051-30-1	91
0,44	Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)bis-	000080-05-7	96
0,43	Nonane, 3-methyl-	005911-04-6	90
0,38	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	95
0,36	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	97
0,35	Naphthalene	000091-20-3	97
0,33	Cyclohexane, propyl-	001678-92-8	90
0,25	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	96
0,24	Bicyclo[4.2.1]nona-2,4,7-triene, 7-phenyl-	1000164-41-0	96
0,18	Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, (S)-	005989-54-8	94
0,18	Benzene, 1-methyl-3-propyl-	001074-43-7	95
0,18	Benzene, 1,2,3,4-tetramethyl-	000488-23-3	94
0,18	Pentadecane	000629-62-9	96
0,17	Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-	000095-93-2	95
0,16	Benzene, 1,1'-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-	001520-44-1	97
0,15	Indene	000095-13-6	93
0,14	Cyclohexane, 1,2,4-trimethyl-, (1.alpha.,2.beta.,4.beta.)-	007667-60-9	93
0,14	Decane, 4-methyl-	002847-72-5	90
0,14	Naphthalene, decahydro-2-methyl-	002958-76-1	93
0,13	Benzene, 4-ethyl-1,2-dimethyl-	000934-80-5	95
0,13	Dodecane	000112-40-3	97
0,12	Naphthalene, 2-methyl-	000091-57-6	93
0,12	2-Tetradecene, (E)-	035953-53-8	90
0,12	9-Octadecene, (E)-	007206-25-9	91
0,12	Hexadecane	000544-76-3	96
0,11	Benzene, 1-ethyl-2,3-dimethyl-	000933-98-2	93
0,11	Naphthalene, decahydro-2-methyl-	002958-76-1	95
0,11	Cyclododecane	000294-62-2	91
0,11	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	95
0,11	Naphthalene, 2-phenyl-	000612-94-2	90
0,10	Benzene, 1-propenyl-	000637-50-3	91
0,10	Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	007614-93-9	97
0,09	Tetradecane	000629-59-4	95
0,09	Heptadecane	000629-78-7	96
0,09	Benzene, 1,1'-(1,4-butanediyl)bis-	001083-56-3	93
0,08	Cyclopropane, nonyl-	074663-85-7	90
0,08	Biphenyl	000092-52-4	94
0,08	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	003018-20-0	95

0,08	1-Nonadecene	018435-45-5	95
0,08	Octadecane	000593-45-3	96
0,08	1-Nonadecene	018435-45-5	93
0,06	.alpha.,.beta.,.beta.-Trimethylstyrene	000769-57-3	93
0,06	Naphthalene, 2,3-dimethyl-	000581-40-8	93
0,06	1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	000643-58-3	95
0,06	1,2-Diphenylcyclopropane	029881-14-9	94
0,06	Tetratriacontane	014167-59-0	90
0,05	cis-Stilbene	000645-49-8	90

## APÊNDICE 10

Experimento s	Condições experimentais				Análise elementar VCA				Análise elementar VCB			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	C	H	N	S	C	H	N	S
1	500	5	0,03	0	41,28	5,64	0,31	0,17	74,23	7,73	3,56	0,31
2	500	5	0,76	0	80,78	13,47	1,25	0,26	75,84	11,23	1,71	0,33
3	500	35	0,76	2	74,75	12,86	1,18	0,28	82,01	11,33	1,55	0,50
4	700	35	0,03	2	63,58	11,04	1,33	0,24	79,71	10,22	1,80	0,38
5	700	5	0,76	2	72,63	12,82	0,74	0,22	82,72	11,57	1,31	0,41
6	700	35	0,76	0	68,43	11,67	0,64	0,20	76,26	9,70	1,25	0,89
7	700	5	0,03	0	84,02	12,34	0,72	0,33	76,68	13,50	1,89	0,51
8	700	35	0,03	0	70,40	11,32	1,04	0,30	74,36	9,55	1,29	0,58
9	500	35	0,76	0	75,13	12,49	0,61	0,19	80,40	10,94	1,46	0,46
10 (C)	600	20	0,44	1	69,04	10,80	1,01	0,27	82,14	11,47	1,25	0,24
11	700	5	0,03	0	84,02	12,34	0,72	0,33	76,68	13,50	1,89	0,51
12	700	35	0,03	2	77,45	11,28	1,28	0,33	81,21	10,74	1,26	0,22
13	500	35	0,03	0	77,58	11,52	0,65	0,28	58,17	6,36	2,27	0,26
14	500	5	0,76	2	80,63	11,96	0,81	0,30	78,10	10,65	1,79	0,24
15	700	35	0,76	2	69,52	10,37	0,77	0,39	80,13	11,52	1,04	0,18
16	700	5	0,76	0	69,13	10,04	0,55	0,29	77,58	11,69	1,06	0,17
17	500	35	0,76	2	54,88	8,31	0,69	0,20	80,15	11,10	1,90	0,17
18	500	5	0,03	0	41,28	5,64	0,31	0,17	74,23	7,73	3,56	0,31
19	500	5	0,03	2	69,22	9,42	0,87	0,30	88,46	6,65	5,01	0,54
20	700	5	0,03	2	70,84	10,95	0,46	0,22	51,52	4,96	5,03	0,04
21	500	35	0,03	2	74,34	10,84	0,82	0,31	67,11	6,38	4,06	0,06
22	500	35	0,03	2	71,91	9,83	1,33	0,28	67,11	6,38	4,06	0,06
23	500	35	0,76	0	71,70	10,91	0,48	0,23	80,40	10,94	1,46	0,46
24	700	35	0,76	2	71,95	14,46	1,59	0,23	80,13	11,52	1,04	0,18
25	500	5	0,76	2	66,72	9,78	0,66	0,21	78,10	10,65	1,79	0,24
26	700	5	0,76	2	60,33	9,33	0,49	0,19	82,72	11,57	1,31	0,41
27	500	35	0,03	0	60,91	8,37	0,62	0,29	58,17	6,36	2,27	0,26

28	500	5	0,76	0	68,02	9,91	0,61	0,24	75,84	11,23	1,71	0,33
29 (C)	600	20	0,44	1	64,98	9,32	0,83	0,24	82,14	11,47	1,25	0,24
30	700	35	0,03	0	63,29	9,05	0,51	0,19	74,36	9,55	1,29	0,58
31	700	5	0,03	2	65,81	9,29	0,62	0,21	39,00	3,18	2,73	0,12
32	700	35	0,76	0	60,51	9,34	0,74	0,26	76,26	9,70	1,25	0,89
33	500	5	0,03	2	69,22	9,42	0,87	0,30	88,46	6,65	5,01	0,54
34	700	5	0,76	0	68,19	11,74	1,12	0,39	77,58	11,69	1,06	0,17

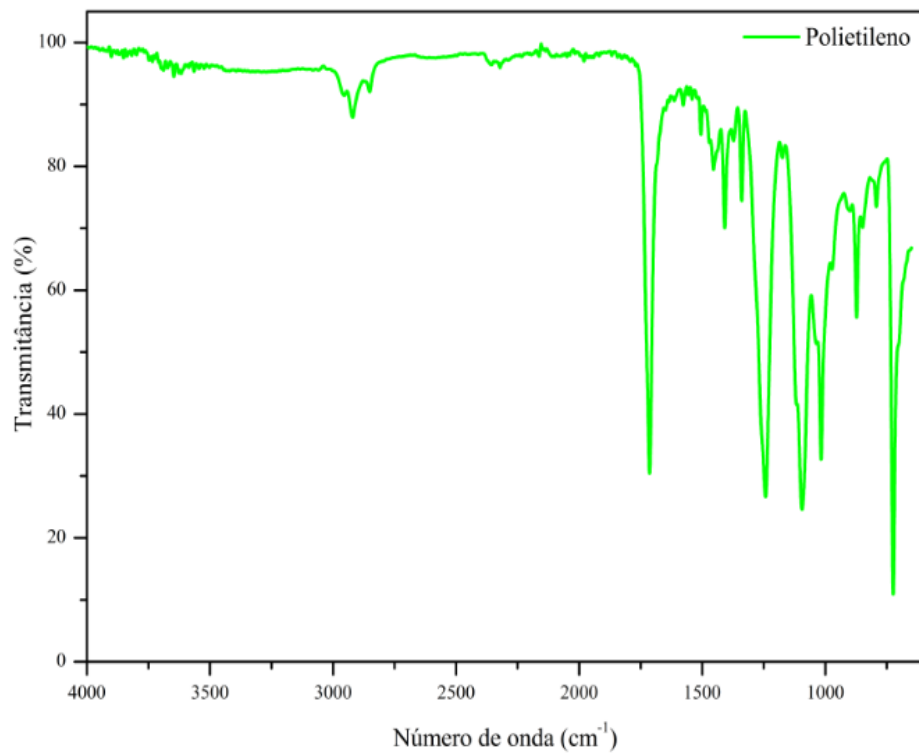
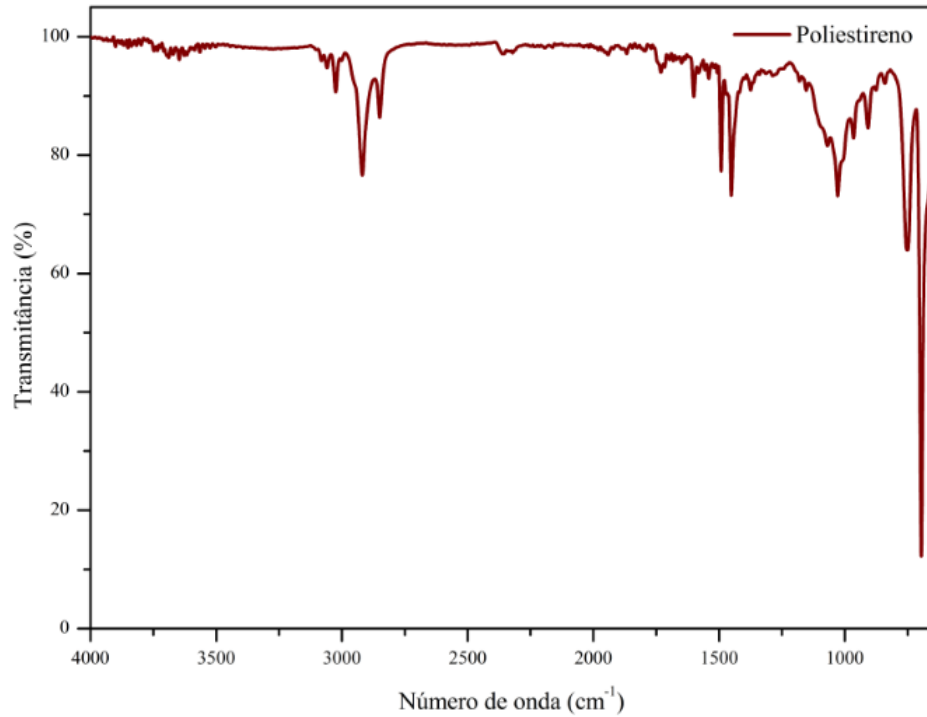
## APÊNDICE 11

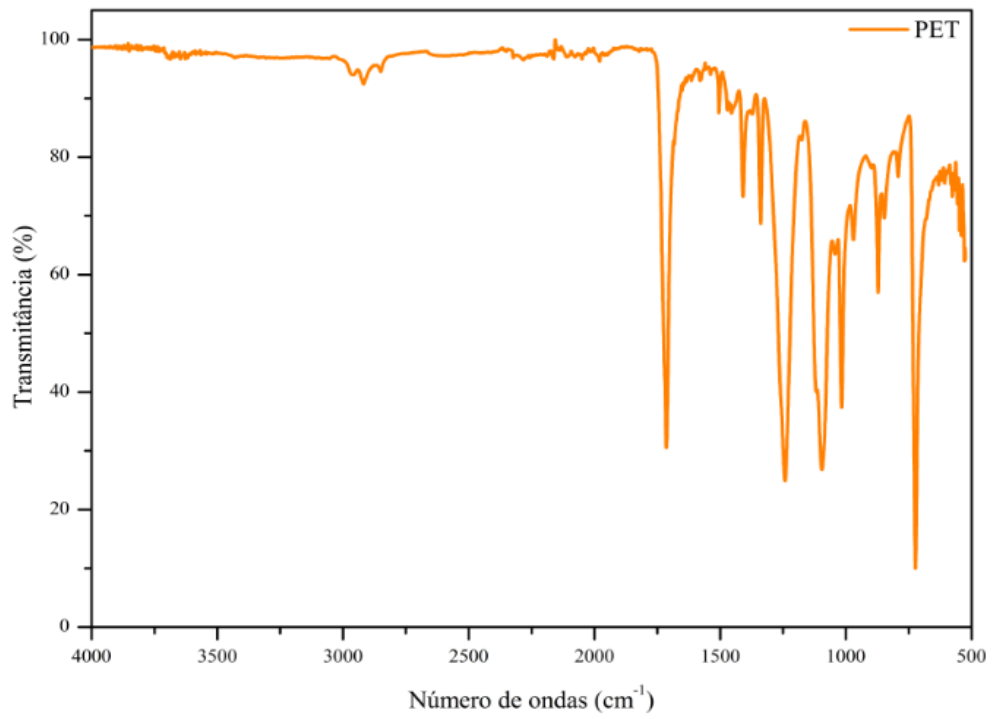
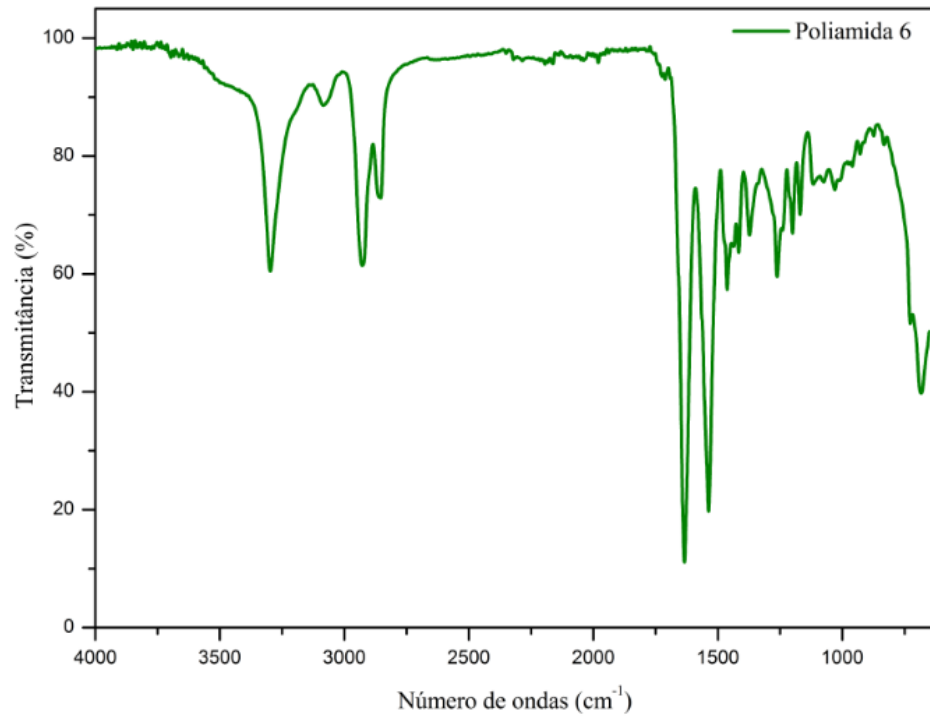
<b>Ensaio</b>	<b>Char (kg)</b>	<b>Poder calorífico do char (MJ/kg)</b>	<b>VCA (kg)</b>	<b>Poder calorífico VCA (MJ/kg)</b>	<b>VCB (kg)</b>	<b>Poder calorífico VCB (MJ/kg)</b>	<b>Eficiência Energética mínima com base no char (%)</b>	<b>Eficiência Energética mínima (char + VCA + VCB) (%)</b>	<b>Retenção de cloro no char (% massa)</b>
1	0,011	19,61	0,000	16,83	0,001	28,27	14,68	16,51	45,42
2	0,011	16,43	0,004	34,94	0,001	31,63	11,61	22,71	33,47
3	0,112	3,21	0,017	32,65	0,000	33,53	24,06	61,82	34,91
4	0,112	9,77	0,017	27,86	0,004	31,94	73,02	113,83	39,00
5	0,105	4,58	0,026	31,99	0,004	33,94	32,14	96,05	32,67
6	0,012	18,00	0,014	29,81	0,005	30,49	14,56	52,31	46,11
7	0,010	19,98	0,002	34,96	0,001	33,75	13,89	19,05	41,17
8	0,013	11,55	0,018	30,10	0,000	29,81	10,17	47,28	32,17
9	0,011	15,09	0,021	32,46	0,001	32,74	10,99	57,71	26,78
10	0,037	5,54	0,020	29,27	0,003	33,69	13,59	60,97	22,76
11	0,011	16,55	0,002	34,96	0,000	33,75	11,63	17,25	37,32
12	0,109	2,85	0,021	32,15	0,004	32,81	20,76	74,95	48,00
13	0,011	12,83	0,020	32,38	0,002	22,40	9,53	56,06	32,63
14	0,114	1,94	0,018	33,65	0,000	31,82	14,80	56,49	50,12
15	0,110	6,19	0,019	29,05	0,008	33,14	45,49	98,14	38,26
16	0,013	17,13	0,014	28,67	0,001	32,52	15,26	44,96	26,94
17	0,110	2,82	0,015	23,04	0,000	32,79	20,60	43,72	54,31
18	0,014	16,89	0,002	16,83	0,004	28,27	15,47	25,07	41,88
19	0,117	2,71	0,009	28,19	0,002	31,58	21,13	42,51	56,04
20	0,111	1,26	0,022	29,93	0,003	19,29	9,35	56,09	43,84
21	0,112	2,32	0,013	30,86	0,002	25,05	17,30	46,92	78,27
22	0,116	4,53	0,012	29,32	0,002	25,05	34,95	61,28	43,42
23	0,010	13,81	0,022	30,14	0,002	32,74	9,29	57,47	30,24
24	0,110	2,52	0,018	33,14	0,003	33,14	18,44	64,95	36,04
25	0,112	5,95	0,023	27,75	0,001	31,82	44,30	88,51	40,27
26	0,106	2,00	0,012	25,49	0,000	33,94	13,24	34,62	36,55
27	0,010	15,32	0,018	24,87	0,002	22,40	10,14	42,24	24,22
28	0,012	19,67	0,016	28,24	0,001	31,63	15,14	48,45	28,59
29	0,035	4,51	0,024	26,85	0,002	33,69	10,40	58,31	34,14
30	0,011	17,62	0,021	26,13	0,002	29,81	13,32	53,88	33,57
31	0,110	1,28	0,024	27,07	0,001	14,13	9,39	53,91	40,09
32	0,010	18,97	0,024	25,55	0,002	30,49	13,24	58,82	28,96
33	0,110	2,00	0,002	28,19	0,001	31,58	17,97	25,67	64,62
34	0,012	14,74	0,012	29,79	0,001	32,52	11,74	39,00	31,84

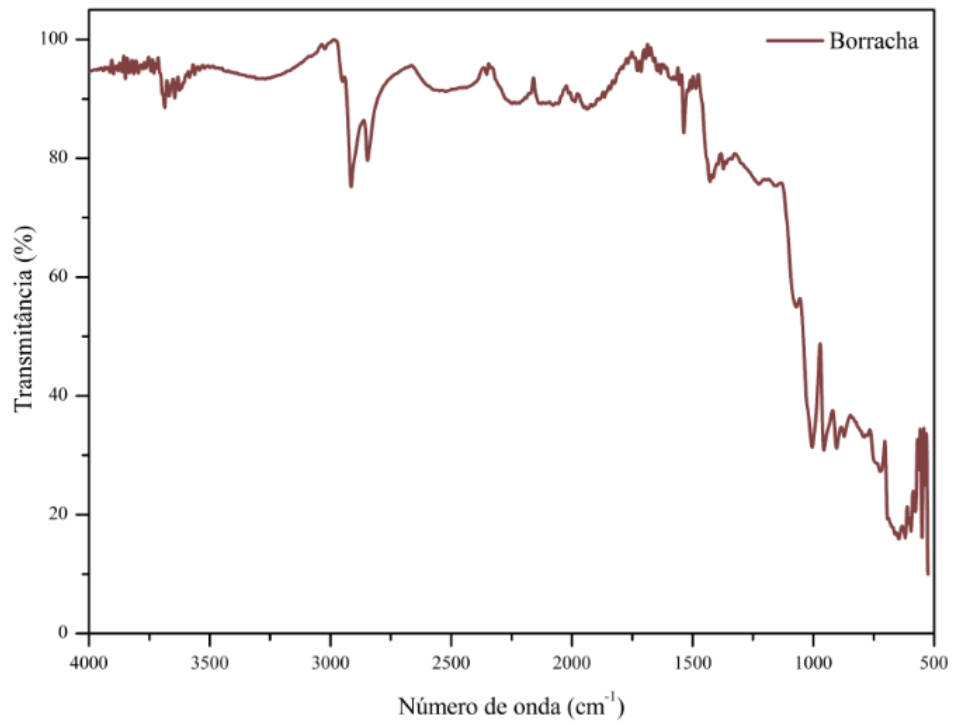
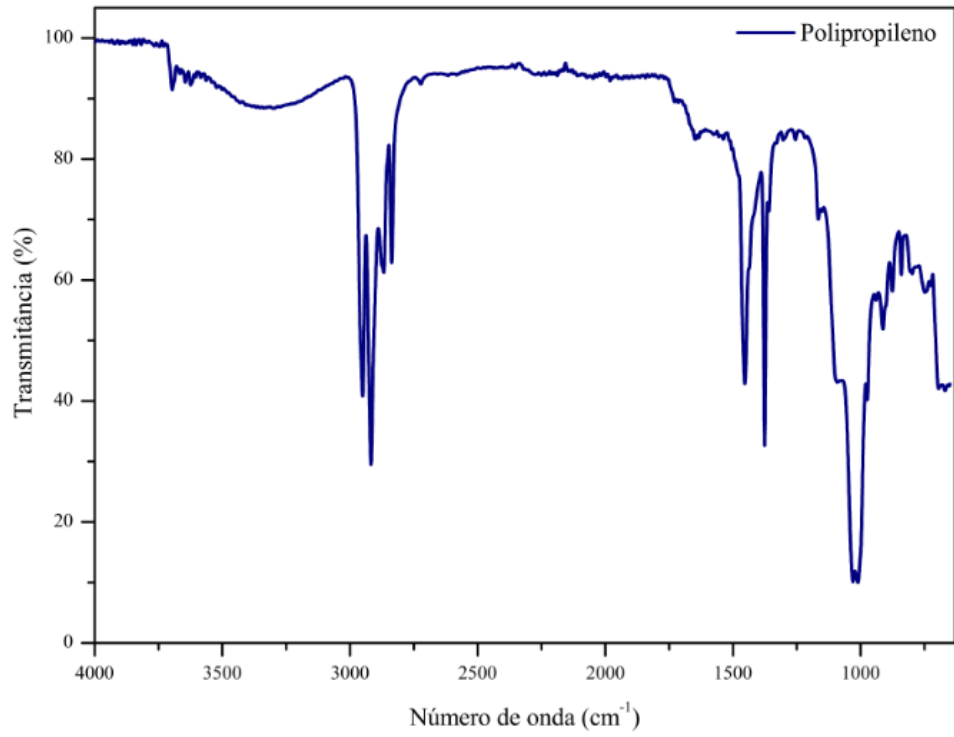


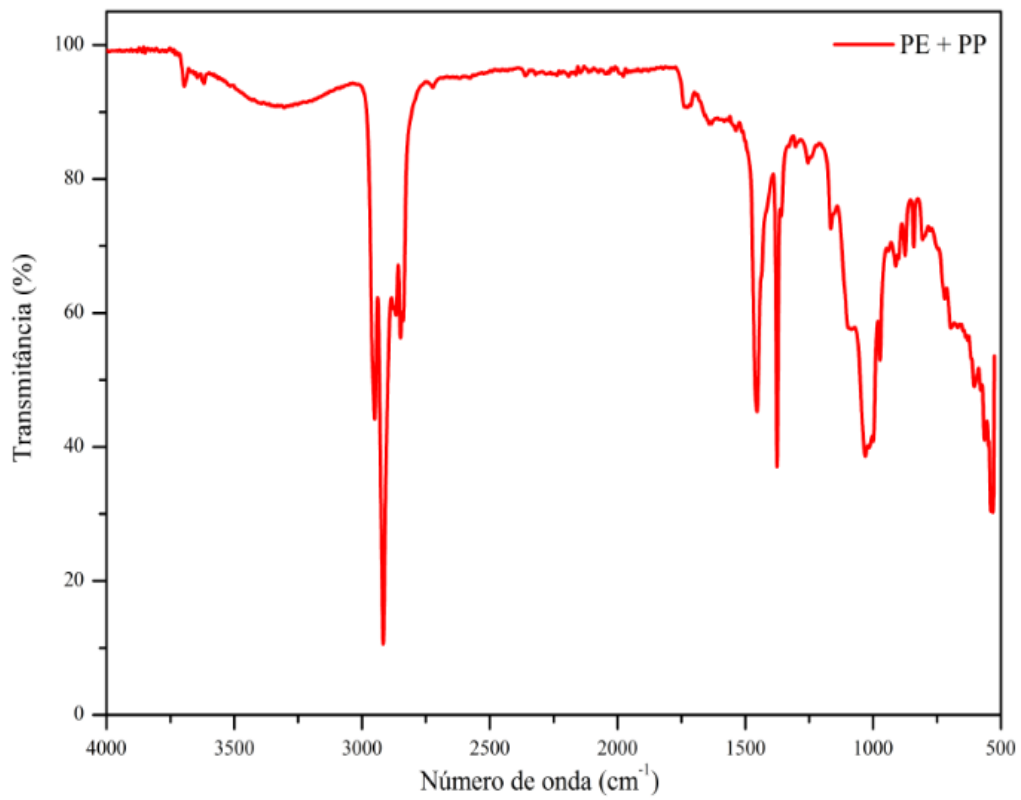
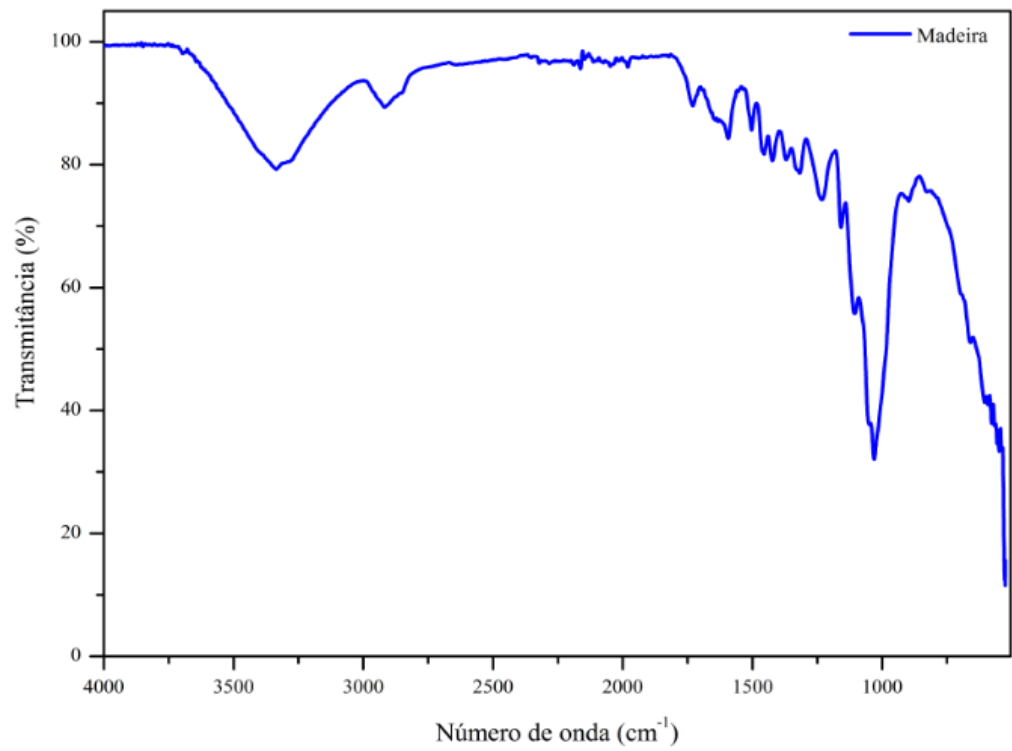
## ANEXO 1

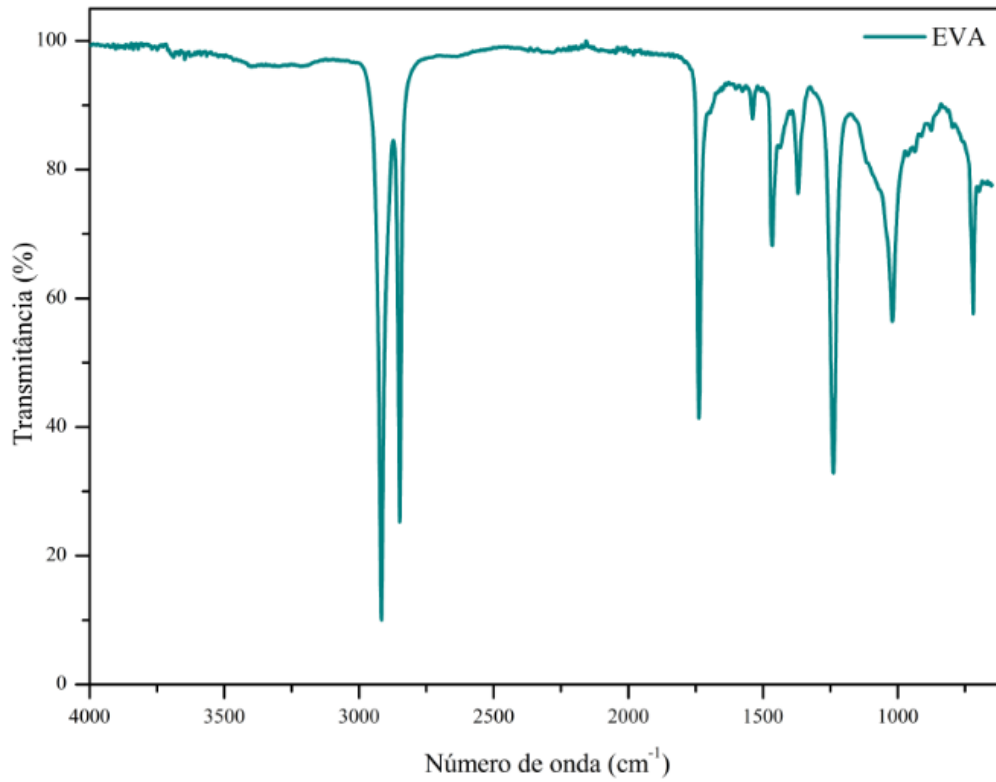
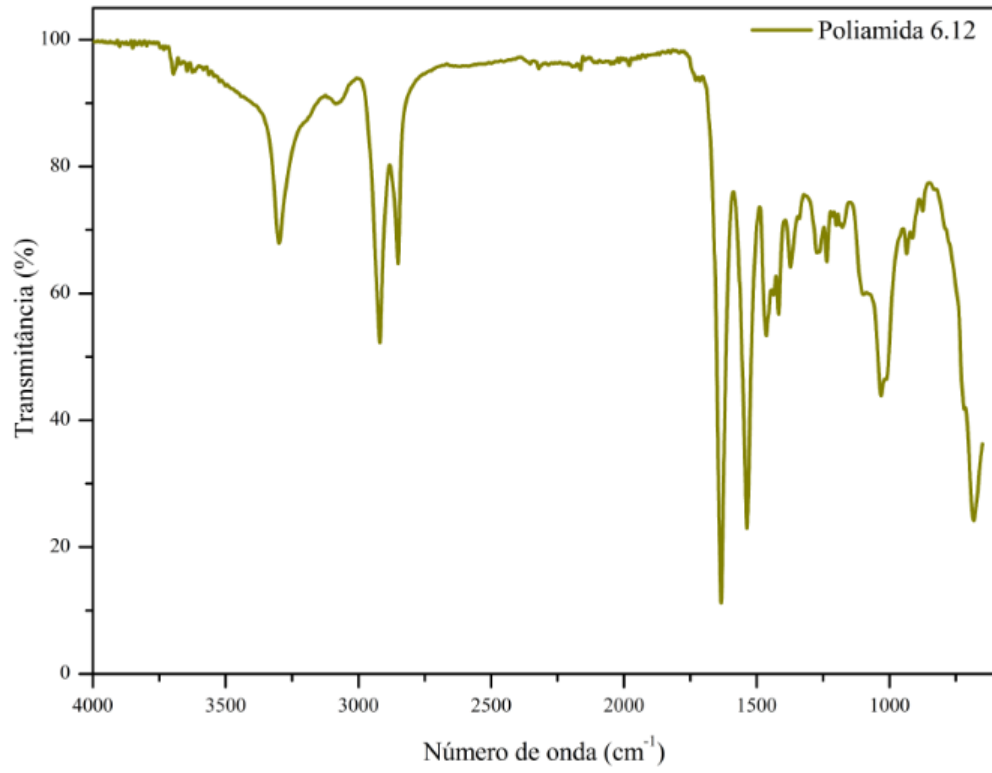
Espectrometria no infravermelho com transformada de Fourier para os principais constituintes do RTS.

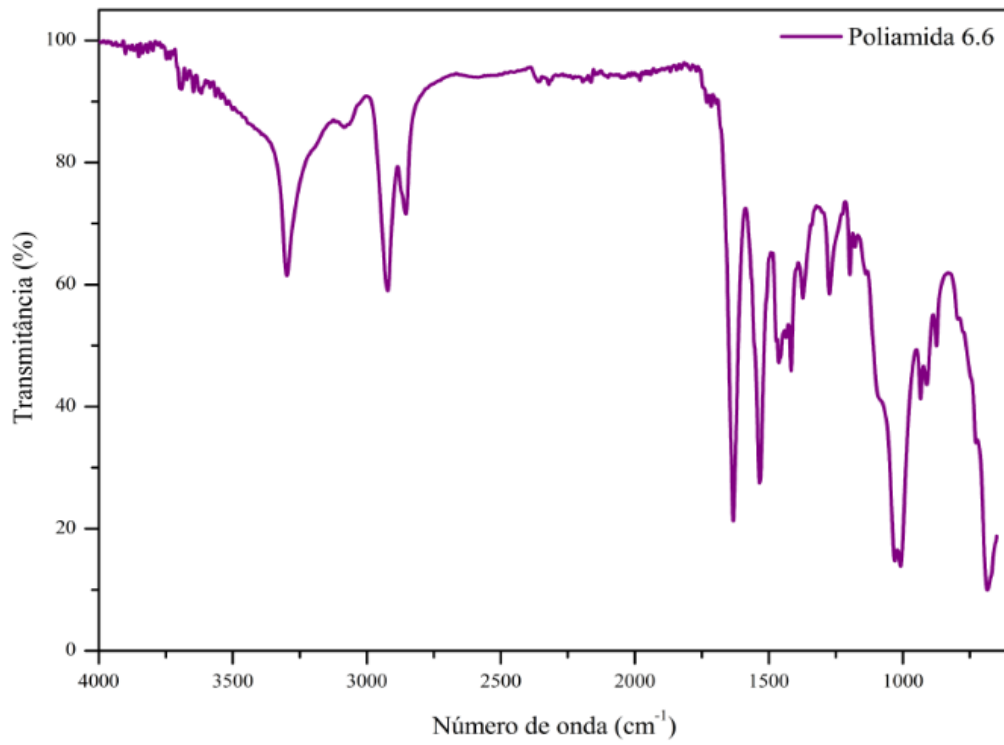
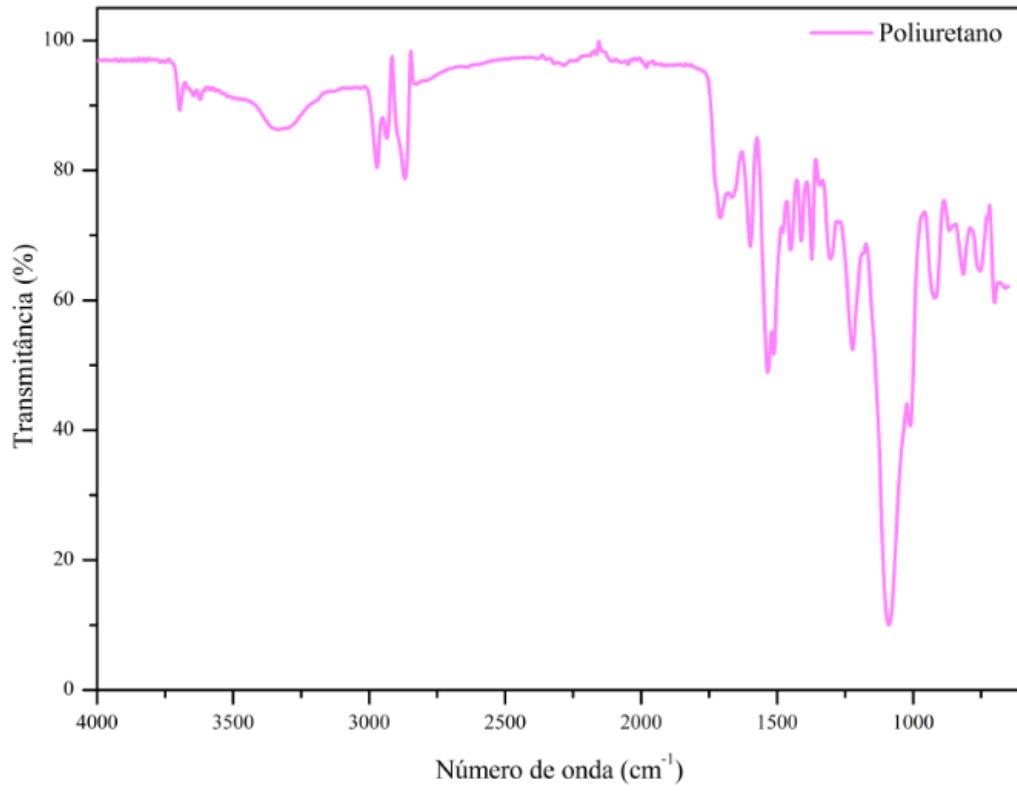


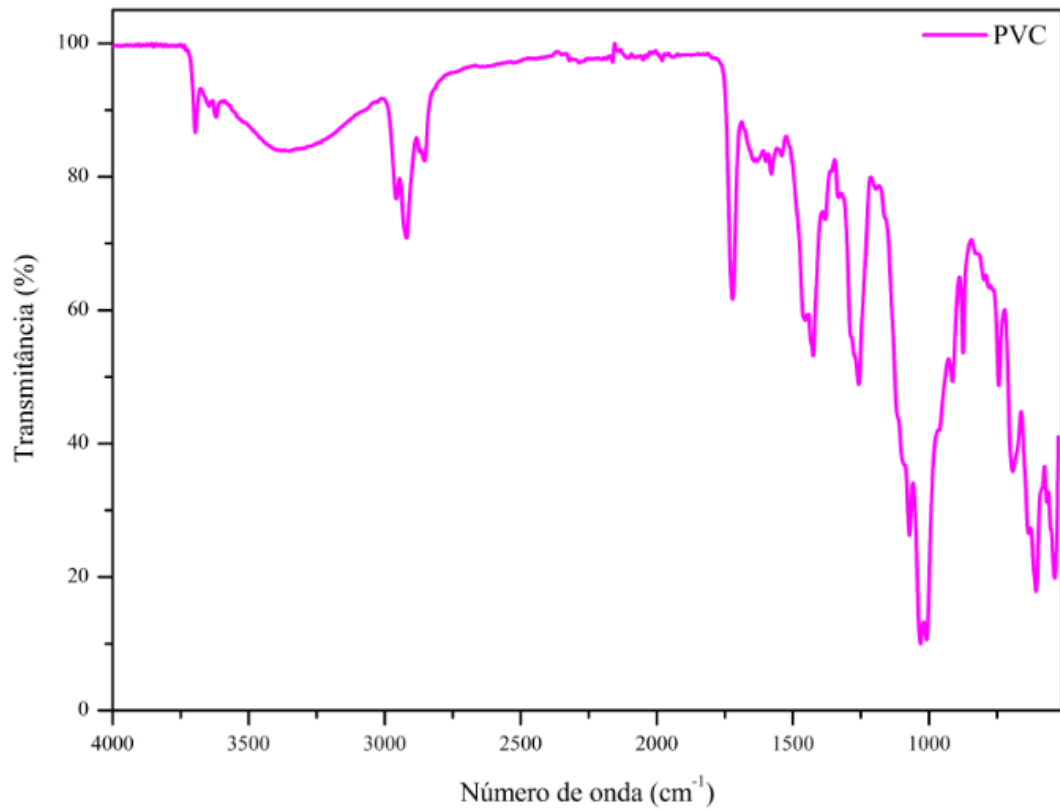
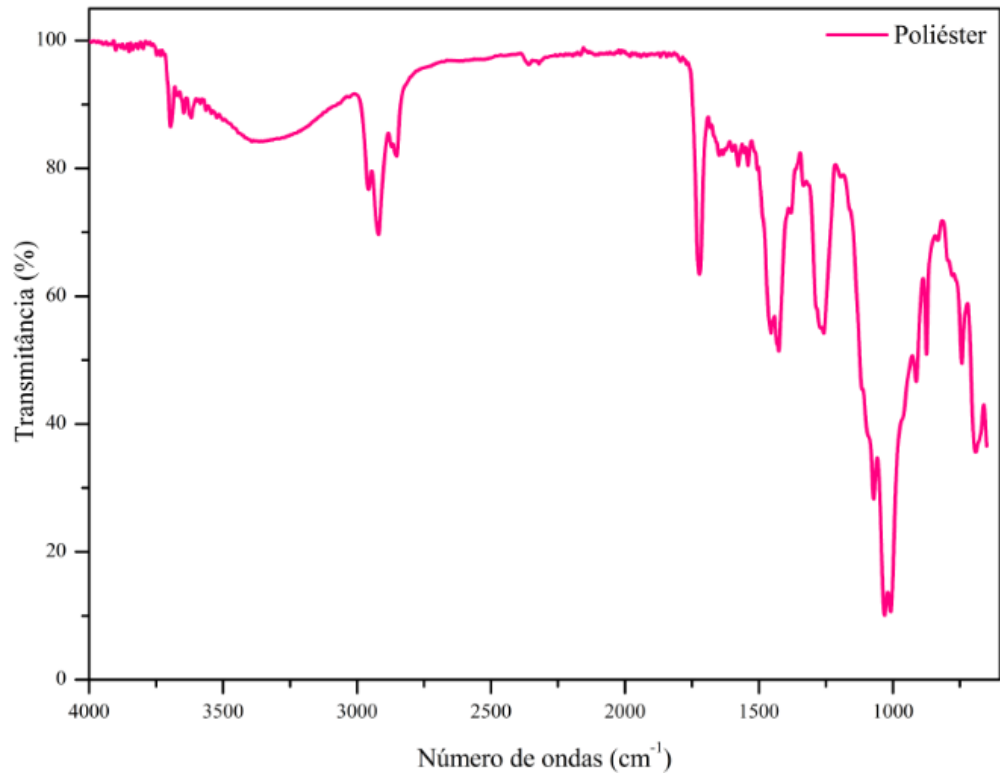






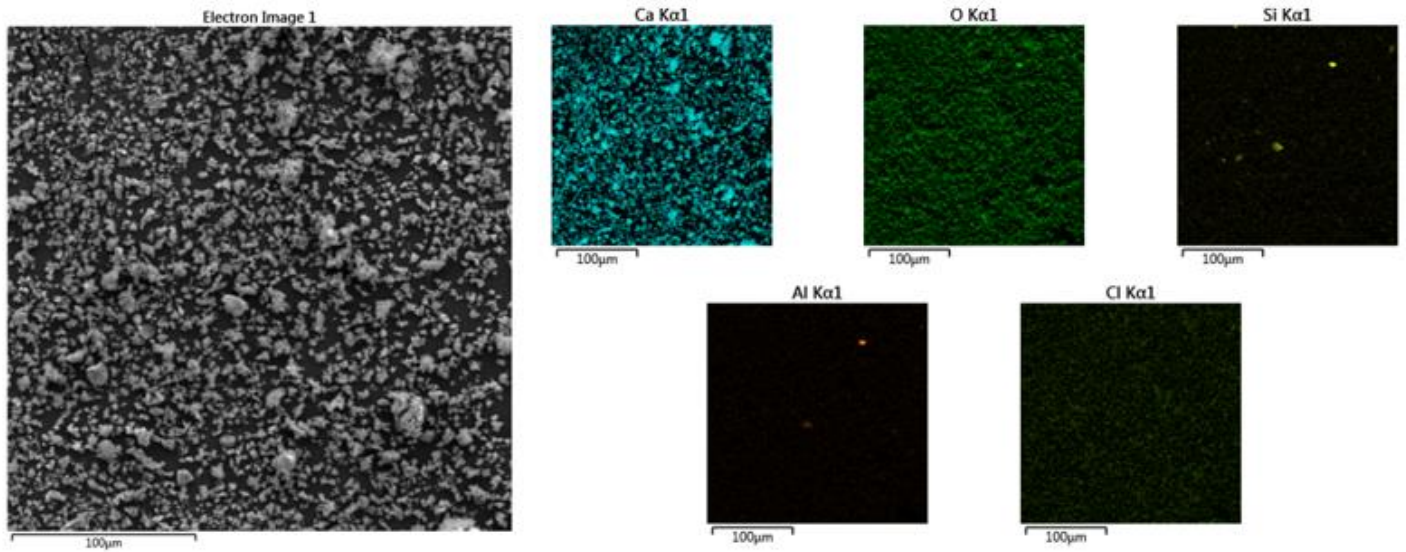






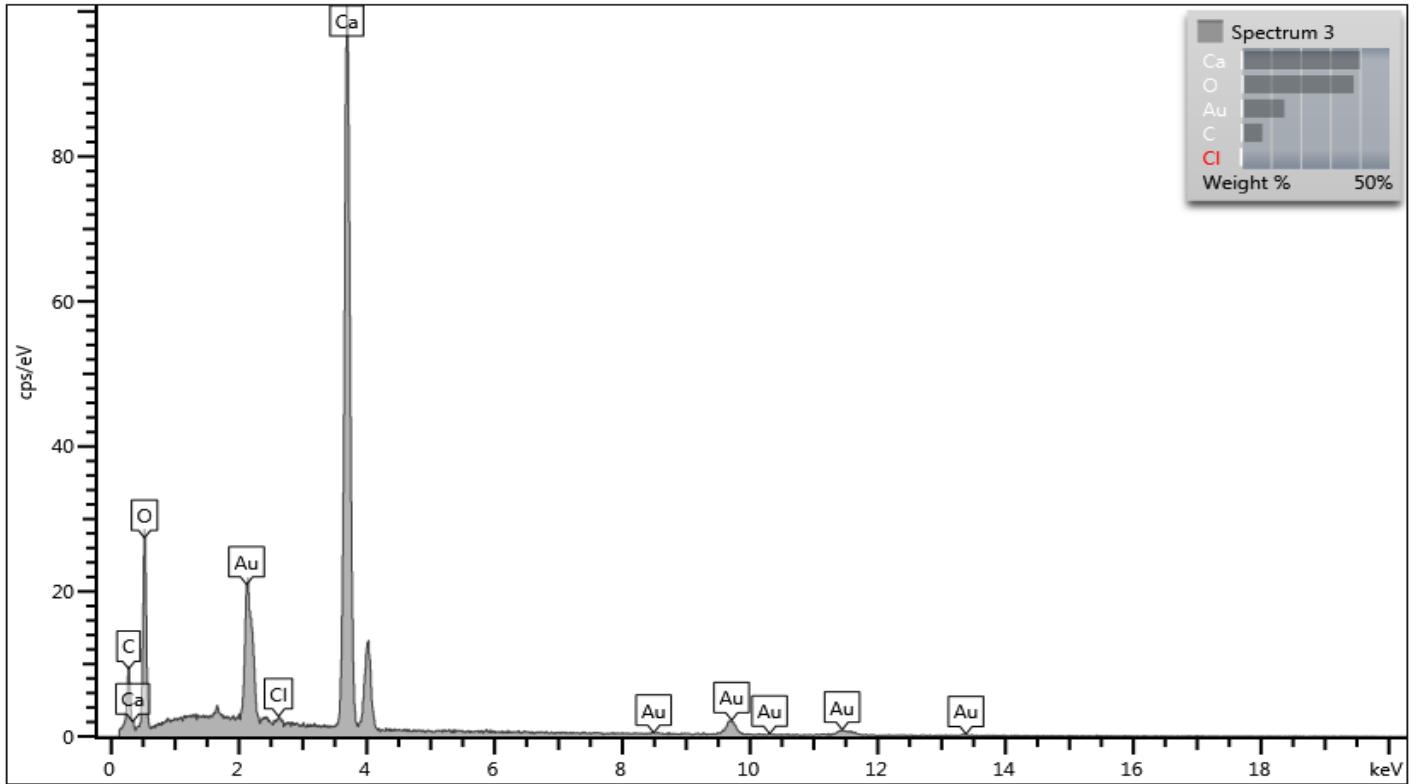
## ANEXO 2

Espectroscopia de energia dispersiva para a amostra de *char* do ensaio de pirólise 3.





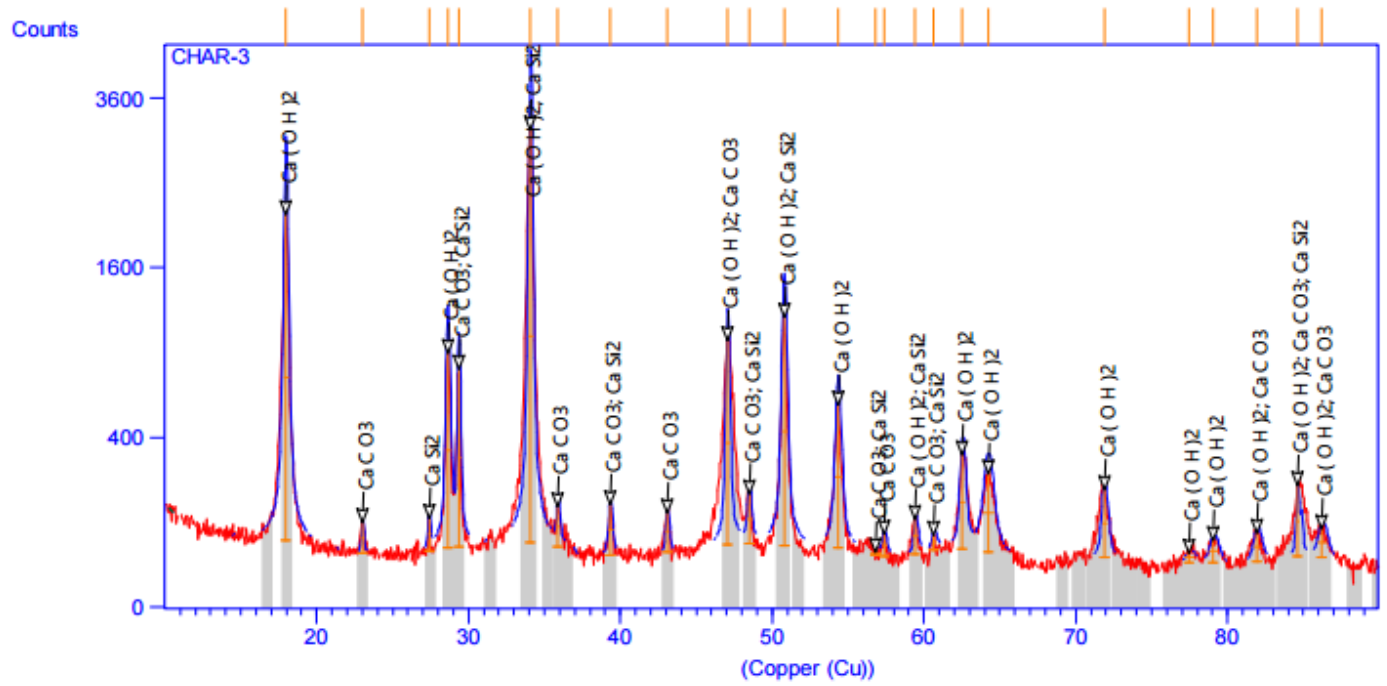




## ANEXO 3

Análise de difração de raios X para a amostra de *char* do ensaio de pirólise 3.

## AMOSTRA CHAR-3



ANEXO 4

Otimização do processo de pirólise do RTS pela função desejabilidade.

