

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Kauê Pereira Guimarães

**CORTINAS ATIRANTADAS:
ESTUDO DE PATOLOGIAS E SUAS CAUSAS**

Avaliador:
Defesa: dia __/__/2015 às _____ horas
Local:UFRGS / Engenharia Nova Osvaldo Aranha, 99, sala 304
Anotações com sugestões para qualificar o trabalho são bem-vindas. O aluno fará as correções e lhe passará a versão final do trabalho, se for de seu interesse.

Porto Alegre
dezembro 2015

KAUÊ PEREIRA GUIMARÃES

**CORTINAS ATIRANTADAS:
ESTUDO DE PATOLOGIAS E SUAS CAUSAS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Lucas Festugato

Porto Alegre
dezembro 2015

KAUÊ PEREIRA GUIMARÃES

**CORTINAS ATIRANTADAS:
ESTUDO DE PATOLOGIAS E SUAS CAUSAS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2015

Prof. Lucas Festugato
Dr. pela UFRGS
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Lucas Festugato (UFRGS)
Dr. pelo PPGECC/UFRGS

Prof. Nilo Cesar Consoli (UFRGS)
Dr. pelo PPGECC/UFRGS

Eng. Ricardo Bergan Born (Bornsales Engenharia)
Msc. pelo PPGECC/UFRGS

Dedico este trabalho a minha mãe, Cristina da Rocha
Pereira, que sempre me apoiou, incentivou e serviu de
base para que eu pudesse alcançar o título de engenheiro
civil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Lucas Festugato, orientador deste trabalho, pelo empenho demonstrado como orientador e professor, estando sempre disponível para questionamentos.

Agradeço ao Eng. Anderson Peccin, pelo interesse em ajudar futuros colegas de profissão e por disponibilizar material bibliográfico.

Agradeço ao Eng. Jarbas Milititsky, pelo empenho demonstrado para com a nova geração de engenheiros geotécnicos, disponibilizando tempo e material bibliográfico.

Agradeço ao Eng. Eduardo Azambuja, pelo esforço demonstrado para elucidar o problema que foi o objeto de estudo, disponibilizando tempo e material bibliográfico, sem o qual esse trabalho não seria possível.

Agradeço a instituição de ensino UFRGS, por fazer parte da minha vida acadêmica, por contribuir para moldar o meu caráter, por disponibilizar ótimos professores, por ter sido, muitas vezes, desafiado a ultrapassar os meus limites, conferindo dessa forma, mais segurança e a certeza do sucesso.

Agradeço aos meus colegas de curso, pelas ótimas companhias ao longo da graduação, pelos momentos inesquecíveis que partilhamos, pelas amizades construídas e pela troca de conhecimento, sem o qual não estaria me formando.

Agradeço ao meu avô, Paulo da Silva Pereira, por ser um exemplo de vida, por me apoiar nas grandes decisões da minha vida, por me aconselhar em momentos de dificuldade e por contribuir com os valores necessários para o meu desenvolvimento como cidadão.

Agradeço, finalmente, à minha mãe, Cristina da Rocha Pereira, por fomentar a educação na minha vida, por fazer todo o possível para que eu tivesse o melhor, por ser uma mãe exemplar, por me apoiar nos momentos difíceis da graduação, por estar presente a qualquer momento e por ser o motivo pelo qual me aprimoro constantemente.

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

RESUMO

Este trabalho versa sobre cortinas atirantadas e o estudo de patologias nas mesmas, abordando as causas desses fenômenos. Primeiramente, é exposto o conceito de parede de contenção, uma vez que a estrutura em estudo faz parte desse conjunto estrutural. Posteriormente, é apresentada a estrutura em estudo segundo os elementos constituintes e a tipologia de elementos de protensão utilizados. Com objetivo de entender os problemas que afetam esse tipo de estrutura, a etapa seguinte de estudo é o método executivo da cortina como um todo e a execução dos tirantes, uma vez que é de conhecimento dos engenheiros que esses elementos serão responsáveis por suportar grandes cargas. Dessa maneira, o método executivo dos tirantes é uma etapa muito importante para a qualidade da estrutura e irá ditar algumas das principais patologias futuras. Posteriormente, são abordados os diferentes tipos de ensaios que objetivam conferir qualidade a essas peças. Uma vez que o trabalho disserta sobre patologias, é estudado o modo de degradação de estruturas construídas em concreto armado, abordando as causas de tais fenômenos patológicos e os processos de degradação das mesmas. Finalmente, são averiguados os tipos de patologias encontradas na estrutura de estudo segundo a análise de relatórios cedidos por uma empresa atuante no ramo da engenharia geotécnica com larga experiência no assunto pesquisado.

Palavras-chave: Cortinas Atirantadas. Estudo de Patologias.
Degradação de Estruturas em Concreto Armado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais etapas do trabalho	12
Figura 2 - Cronograma.....	12
Figura 3 - Elementos que constituem os tirantes	17
Figura 4 - Conjunto composto de macaco hidráulico, bomba e manômetro	29
Figura 5 - Gráfico da relação a/c x coeficiente de permeabilidade.....	47
Figura 6 - Reação álcalis-agregado.....	48
Figura 7 - Tipos de fissuras conforme esforços presentes na peça.....	50
Figura 8 - Fissuras causadas por perda de aderência das barras da armadura.....	51
Figura 9 - Fissuras causadas por retração do concreto.....	51
Figura 10 - Instalação do processo de corrosão em armaduras.....	52
Figura 11 - Carbonatação devido à fissuração.....	53
Figura 12 - Critério sequencial de análise.....	58
Figura 13 - Exemplo de fissuras.....	60
Figura 14 - Exemplo de lascas.....	60
Figura 15 - Exemplo de eflorescências.....	61
Figura 16 - Exemplo de porosidade.....	61
Figura 17 - Exemplo de exposição da cabeça do tirante.....	62
Figura 18 - Exemplo de fluxo de água na cabeça do tirante.....	62
Figura 19 - Exemplo da existência de líquens nas faces.....	63
Figura 20 - Exemplo de exposição da placa do tirante.....	63
Figura 21 - Exemplo de ruptura do tirante com projeção do capacete de proteção.....	64
Figura 22 - Exemplo de ruptura do tirante com contração da barra.....	64
Figura 23 - Exemplo de tirante solto.....	65
Figura 24 - Exemplo de deslocamento.....	66
Figura 25 - Exemplo de surgência d'água.....	67
Figura 26 - Exemplo de fuga de finos.....	67
Figura 27 - Exemplo de vegetação nas juntas.....	68
Figura 28 - Exemplo de diversas patologias em juntas horizontais.....	69
Figura 29 - Exemplo de deficiência no cobrimento das juntas horizontais.....	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de proteção anticorrosiva	26
Quadro 2 - Estágios de carga e critérios de estabilização do ensaio de qualificação	32
Quadro 3 - Cargas aplicadas no ensaio de recebimento	33
Quadro 4 - Estágios de carga e critérios de estabilização do ensaio de fluência	34
Quadro 5 - Análise percentual das causas de problemas patológicos em estruturas de concreto.....	43
Quadro 6 - Exemplo de planilha de inspeção para as patologias nos painéis.....	55
Quadro 7 - Modelo de planilha de inspeção das juntas.....	56
Quadro 8 - Modelo de planilha de inspeção do capacete de proteção do tirante.....	57
Quadro 9 - Resumo das principais patologias.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes de ancoragem	20
Tabela 2 - Agressividade do meio	24

LISTA DE SIGLAS

SPT - *Standard Penetration Test*

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

σ_{adm} - tensão admissível (MPa)

σ'_z -tensão efetiva no ponto médio da ancoragem (kN/cm²)

α -coeficiente redutor ao cisalhamento (MPa)

EI - rigidez à flexão (N.mm)

F_t -carga de trabalho do tirante (kN)

F_o -força inicial de tração (kN)

f_{yk} - resistência característica do aço a tração (MPa)

k_t -coeficiente de ancoragem

L_b -comprimento ancorado (cm)

L_l -comprimento livre (cm)

L_{be} -comprimento ancorado efetivo (cm)

L_{le} -comprimento livre efetivo (cm)

S-área da menor seção transversal do tirante (cm²)

S_u -resistência ao cisalhamento não drenado (kN/cm²)

T-força resistente à tração da ancoragem (kN)

U-perímetro médio da seção transversal da ancoragem (cm)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DIRETRIZES DE PESQUISA	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	15
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	15
2.2.1 Objetivo principal	15
2.2.2 Objetivo secundário	15
2.3 PREMISSA	15
2.4 DELIMITAÇÕES	16
2.5 LIMITAÇÕES	16
2.6 DELINEAMENTO	16
3 PAREDES DE CONTENÇÃO	19
3.1 CORTINA DE CONCRETO ARMADO ATIRANTADA	21
3.1.1 Elementos constituintes de cortinas atirantadas	21
3.1.1.1 Tirantes	22
3.1.1.2 Cortina de concreto armado	27
3.2 MÉTODO EXECUTIVO USUAL DE UMA CORTINA ATIRANTADA	28
3.3 MÉTODO EXECUTIVO DE UM TIRANTE	29
3.3.1 Preparo e montagem	30
3.3.2 Perfuração	33
3.3.3 Instalação do tirante	34
3.3.4 Injeção	34
3.3.5 Protensão	35
3.4 ENSAIOS REALIZADOS NOS TIRANTES	37
3.4.1 Ensaio básico	37
3.4.2 Ensaio de qualificação	38
3.4.3 Ensaio de recebimento	39
3.4.4 Ensaio de fluência	41
4 MODOS DE DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO	42
4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	42
4.2 CAUSAS DA DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS.....	44
4.2.1 Falhas humanas durante a construção da estrutura	45
4.2.2 Falhas humanas durante a utilização da estrutura	46

4.2.3 Falhas naturais de deterioração que competem ao concreto.....	46
4.3 PROCESSOS DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	49
5 PATOLOGIAS EM CORTINAS ATIRANTADAS.....	54
5.1 METODOLOGIA DE ANÁLISE.....	54
5.2 ESTUDO DE PATOLOGIAS.....	58
5.2.1 Patologias em tirantes.....	59
5.2.2 Patologias em juntas verticais.....	65
5.2.3 Patologias em juntas horizontais.....	68
5.2.4 Patologias nos painéis de concreto.....	70
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
REFERÊNCIAS.....	76

1 INTRODUÇÃO

O Brasil foi palco de grandes catástrofes nos últimos anos devido à instabilidade de encostas. Por ser um País em desenvolvimento e apresentar uma parcela significativa da população com baixos recursos financeiros e carente de informação, o crescimento desordenado atinge grande parte dos estados do País. Dessa forma, configura-se o panorama atual, em que, infelizmente, grandes acidentes ocorrem devido a ocupações irregulares em áreas de encostas, que aliadas à falta de conhecimento e à necessidade de moradia, culminam em acidentes fatais com frequência.

Com o objetivo de tornar possível a ocupação de certas áreas e construir a malha viária do País, garantindo segurança para a sociedade, são comuns obras de contenção. Essas se justificam, quando é necessária uma escavação e a mesma não apresenta a segurança necessária no que se refere à operação e manutenção da mesma.

A análise do tipo de estrutura de contenção que será utilizada é um processo de grande complexibilidade, visto que há uma grande variedade de técnicas disponíveis atualmente e, em muitos casos, mais de uma solução se pode aplicar à situação do projeto. Dessa maneira, a solução geotécnica deve garantir requisitos como: segurança, funcionalidade, objetividade, ser viável economicamente e minimizar os impactos no meio ambiente, haja vista que não existe obra de Engenharia que não exerça um impacto no meio em que é inserida.

Nesse cenário, é usual a adoção de paredes de contenção, com objetivo de conter esforços horizontais de solo causados por escavações de grandes alturas. Logo, cortinas de contenção são, basicamente, estruturas de contenção planas em que a estabilidade é assegurada, em parte, pelo empuxo passivo que é mobilizado ao longo de um trecho inserido no solo (ficha) e por elementos funcionando à tração (tirantes protendidos) ou à compressão (estroncas). Paredes-diafragma apresentam características similares, visto que são elementos destinados a conter esforços horizontais de solo, contudo, a principal diferença está no método executivo em que é empregada essa solução e por estarem localizadas em meio urbano (subsolos).

Contudo, tais estruturas apresentam patologias, sendo frequentes as ocorrências de sinistros em que mortes e perdas materiais poderiam ser evitadas. Tendo em vista esse cenário, o

presente trabalho dissertará sobre cortinas atirantadas, apresentando as principais patologias correntes e suas causas.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: quais são as principais patologias em cortinas atirantadas e quais são suas causas?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a verificação das patologias frequentes em cortinas atirantadas, assim como as causas desses problemas.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário do trabalho é a verificação dos modos de degradação de estruturas em concreto armado.

2.3 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que são recorrentes patologias em tais estruturas e há pouco material na literatura nacional abordando tal tema, justificando o estudo proposto.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a verificação de patologias em paredes de contenção do tipo cortina de concreto armado atirantada.

2.5 LIMITAÇÕES

Em função das limitações de tempo e recurso, por ser um trabalho de diplomação, este estudo abordará apenas a avaliação de patologias em cortinas atirantadas, não se focando em problemas relativos à fundação das mesmas.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

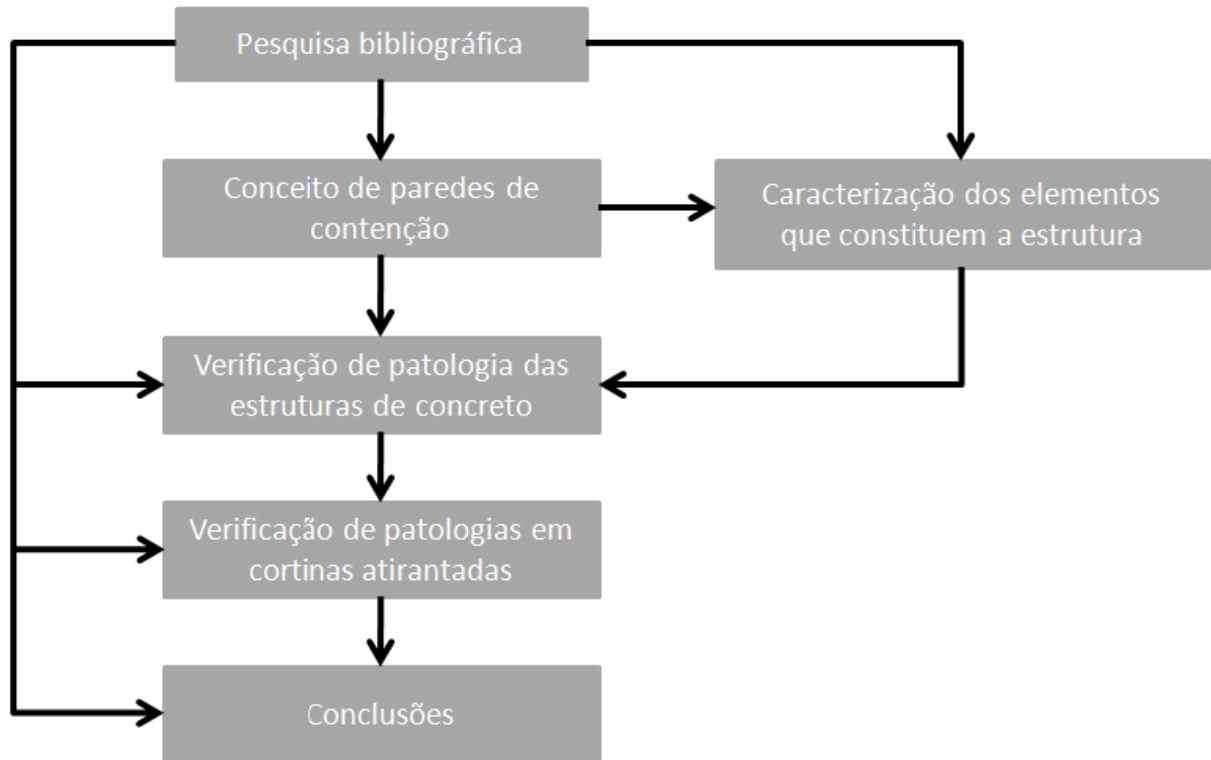
- a) pesquisa bibliográfica;
- b) conceituação de estruturas de contenção;
- c) caracterização dos elementos que constituem a estrutura;
- d) verificação de patologias de estruturas de concreto;
- e) verificação de patologias em cortinas atirantadas;
- f) conclusões.

Inicialmente, se realizará a pesquisa bibliográfica, que será presente em toda a execução do trabalho, a fim de coletar dados e contribuir para o entendimento do assunto. Essa terá embasamento em normas e bibliografias técnicas.

A seguinte etapa consiste em salientar o conceito de paredes de contenção. Concomitantemente, será realizada a caracterização dos elementos que constituem a estrutura assim como os materiais que os compõem.

Na próxima etapa, o foco será no estudo de patologia das estruturas de concreto, haja vista que esse problema é recorrente em estruturas desse porte.

Figura 1 - Principais etapas do trabalho



(fonte: elaborada pelo autor)

Com os resultados da etapa anterior, serão abordadas as patologias em cortinas atirantadas, sendo elas de caráter estrutural. Essa etapa será baseada na pesquisa bibliográfica e em laudos de inspeção de tais estruturas.

Finalmente, através da análise crítica dos problemas citados, serão expressas as considerações finais.

A seguir, o cronograma previsto para a realização do trabalho conforme a figura 2.

Figura 2 - Cronograma

Ano	2015					
Descrição das etapas	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.
Pesquisa Bibliográfica	x	x	x	x	x	x
Estruturas de contenção/elementos	x	x				
Verificação de patologias das estruturas de concreto	x	x				
Verificação de patologias de paredes de contenção	x	x	x	x		
Conclusões						x

(fonte: elaborada pelo autor)

3 PAREDES DE CONTENÇÃO

Segundo Tacitano (2006), parede ou cortina de contenção é todo elemento ou estrutura plana, geralmente vertical, destinado a contrapor-se a tensões geradas por empuxos de solo e/ou água em um maciço de solo cuja condição de equilíbrio foi alterada por algum tipo de escavação ou eventual reaterro, que tenha ocorrido em um de seus lados, sendo caracterizada pela pequena deslocabilidade. Contudo, há distinção no que se refere aos tipos de estruturas de contenção, podendo elas ser divididas, basicamente, em estruturas massivas ou estruturas delgadas.

Ranzini e Negro Junior (1998) apresentam os principais tipos de estruturas de contenção:

- a) muros de arrimo de gravidade,
 - muros de pedra seca;
 - muro de pedra argamassada;
 - muro de concreto ciclópico;
 - muro de gabiões do tipo caixa;
 - muros do tipo '*crib-wall*';
 - muros de terra;
 - muros de arrimo atirantados na base;
 - muro de pneus;
- b) muros de arrimo de flexão,
 - muros de concreto armado sem contrafortes;
 - muros de concreto armado com contrafortes;
 - muros de concreto armado pré-moldados;
- c) reforços de solo,
 - terra armada;
 - solo grampeado ou pregado;
 - solo-cimento (*jetgrouting*);
- d) paredes ou cortinas,
 - cortinas de concreto armado atirantadas;
 - cortinas de estacas justapostas;
 - cortinas de estaca prancha;

- cortinas de perfil metálico cravado;
- cortinas de estacas do tipo 'raiz';
- cortinas de estacas escavadas com arco de concreto projetado
- paredes-diafragma atirantadas;
- paredes-diafragma estroncadas.

Conforme Tacitano (2006, p. 1), a primeira etapa no projeto de estruturas de contenção é a avaliação estratégica e objetiva do problema a ser resolvido, tendo como meta a resolução do problema, aliando concomitantemente, sempre que possível, técnica, custo e fatores ambientais. Segundo o mesmo autor, os seguintes fatores influenciam a escolha do tipo de estrutura:

- a) as dimensões da escavação (profundidade, largura e comprimento);
- b) as propriedades do solo na região;
- c) a sequência imposta pelo método construtivo;
- d) sobrecargas devidas ao trânsito local e aos equipamentos utilizados na obra;
- e) o regime do nível de água, quando presente na escavação;
- f) o tipo de escoramento;
- g) a presença de utilidades e edificações vizinhas;
- h) o clima (principalmente a temperatura nas estroncadas);
- i) o tempo de construção (tanto de escavação, quanto de instalação do escoramento);
- j) técnicas construtivas e equipamentos disponíveis;
- k) experiência profissional e prática local;
- l) disponibilidade financeira.

Tacitano (2006) explica que palavras como paramento, parede e cortina são palavras análogas, e se referem à parte da estrutura de contenção que está em contato direto com o solo a ser contido. Essas partes da estrutura de contenção são geralmente verticais, sendo compostas, usualmente, de madeira, aço ou concreto ou, inclusive, combinações dos três materiais. Tais paredes podem ser contínuas ou descontínuas, de modo que são as condições de campo e o julgamento do projetista que influenciarão na escolha.

Ranzini e Negro Junior (1998) dizem que escoramentos são estruturas, que têm o objetivo de possibilitar a execução de outras obras. Destinam-se, geralmente, à execução de obras enterradas ou ao assentamento de tubulações embutidas no terreno. Tais estruturas são compostas, usualmente, dos seguintes elementos:

- a) parede: parte em contato direto com o solo a ser contido, sendo, geralmente, vertical;
- b) longarina: elemento linear em que a parede se apóia, sendo, usualmente, horizontal. Pode ser constituída de vigas de madeira, aço ou concreto;
- c) estronca: elemento de apoio das longarinas. São perpendiculares às longarinas e podem ser constituídos de barras de madeira ou aço;
- d) tirantes: elementos lineares introduzidos no maciço e ancorados por meio de um trecho alargado (bulbo). Trabalham a tração, podendo suportar as longarinas em lugar das estroncas.

Conforme a grande quantidade de estruturas que se enquadram nesse conceito, o presente trabalho irá abordar nos seguintes capítulos cortinas de concreto armado atirantadas.

3.1 CORTINA DE CONCRETO ARMADO ATIRANTADA

Essa subdivisão tem como objetivo caracterizar esse sistema de contenção e apresentar o método de execução de tais estruturas.

3.1.1 Elementos constituintes de cortinas atirantadas

Esse sistema de contenção somente é eficiente e desempenha o comportamento esperado se houver um comportamento monolítico entre a cortina de concreto armado e os elementos que funcionam tracionados (tirantes). Tirantes são elementos que estão ancorados, em uma das extremidades, a painéis de concreto armado, que estão submetidos aos esforços de reação devidos à tração nos tirantes. Dessa maneira, é de fundamental importância, para a estabilidade da estrutura, o funcionamento conjunto entre tirante e cortina de concreto armado. A seguir, serão caracterizados os principais elementos.

3.1.1.1 Tirantes

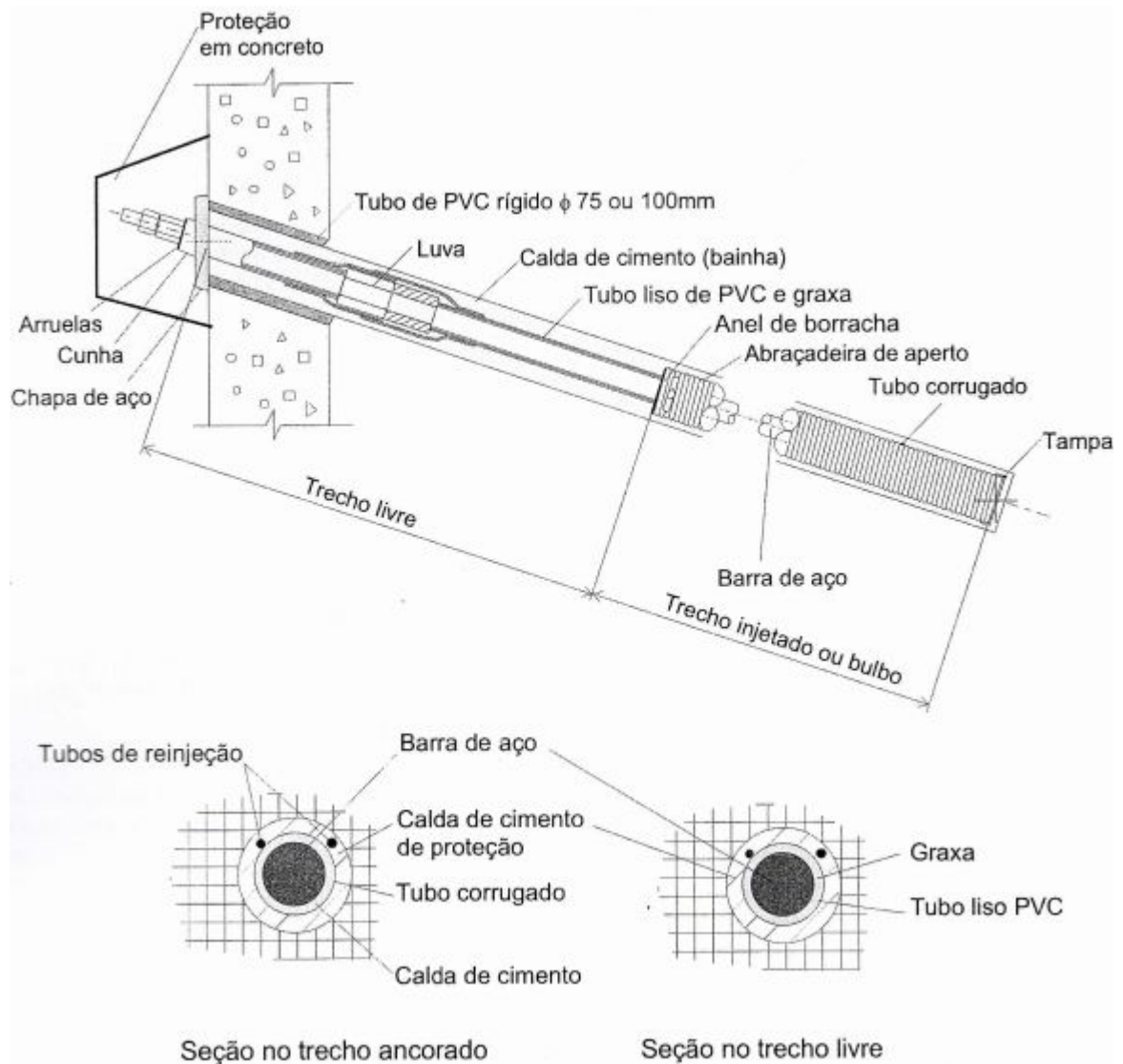
Segundo a NBR 5629 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), tirantes injetados são peças montadas, em que um ou mais elementos resistem aos esforços de tração impostos. Esses são introduzidos no terreno segundo um método específico de perfuração. O bulbo de ancoragem resulta da injeção de calda de cimento, sendo responsável pela transmissão da força absorvida pelo tirante ao terreno.

Conforme a NBR 5629 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), macroscopicamente, as seguintes partes constituem o corpo de um tirante:

- a) comprimento ancorado ou bulbo (L_b): Parte da peça que é projetada para transmitir a carga aplicada ao solo/rocha;
- b) carga aplicada ao tirante: carga que é aplicada na cabeça do tirante e será transmitida ao solo pelo bulbo de ancoragem;
- c) comprimento livre (L_l): distância que está entre a cabeça do tirante e o início do bulbo de ancoragem, devendo ser previsto em projeto;
- d) comprimento ancorado efetivo ou bulbo efetivo (L_{be}): trecho de transferência efetivo de carga no local em que está inserido. É possível que este, seja igual, maior ou menor que o comprimento de projeto (L_b);
- e) comprimento livre efetivo (L_{le}): trecho efetivo de alongamento livre sob aplicação de carga. O mesmo é obtido através de ensaio de qualificação;
- f) cabeça do tirante: dispositivo que transfere a carga do tirante à estrutura a ser ancorada. É constituído de placas de apoio, cunhas, cones, porcas, etc.

A figura 3 representa os elementos que compõem os tirantes.

Figura 3 - Elementos que constituem os tirantes



(fonte: FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO RIO DE JANEIRO, 2014, p. 43)

A mesma norma regulamentadora explica a diferença existente entre os seguintes tipos de tirantes:

- provisórios são peças destinadas a serem utilizadas por tempo inferior a dois anos;
- permanente são peças destinadas a serem utilizadas por tempo superiores a dois anos;
- reinjetáveis são peças em que é possível mais fases de injeções após a sua instalação;
- não reinjetáveis são peças em que não é possível mais fases de injeções após a sua instalação.

Segundo a NBR 5629 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), no que se refere às características físicas das barras, tais objetos podem ser divididos em, tirantes:

- a) monobarra: são elementos constituídos por aço encruado a frio, em que as barras comumente utilizadas são de aço CA-50 ou CA-60. Nessas barras a tensão de escoamento é, respectivamente, 500 e 600 MPa.
- b) de fios ou cordoalhas: são elementos constituídos por aço encruado a frio, com elevadas resistências à tração e pequenas deformações de fluência. São constituídos de diversos fios ou cordoalhas, de modo que parte do projetista a escolha da necessidade de maiores resistências, conseqüentemente maiores quantidades de fios ou cordoalhas. São utilizados, na prática de engenharia, com mais frequência fios com diâmetros de oito e nove milímetros e cordoalhas com 12,7 e 15,2 mm. Apresentam tensões de escoamento maiores se com parados com os tirantes monobarra. Exemplificando, tirantes compostos por fios e com aço 150RB possuem valores de tensão de escoamento igual a 1350 MPa enquanto que tirantes compostos por cordoalhas com aço 190RB possuem tensão de escoamento igual a 1708 MPa.

Quanto ao sistema de injeção, Solotrat Engenharia Geotécnica [2015], afirma que tais elementos podem ser injetados em um único estágio ou em múltiplos estágios. O fator que irá determinar tal distinção é a caracterização do solo em que o mesmo será inserido. Dessa forma, em solos resistentes e com índice de vazios baixo, é possível a injeção em um único estágio. No entanto, solos com menores capacidades portantes e com alto índice de vazios é recomendada a injeção em múltiplos estágios, em que será necessária a utilização de tirantes reinjetáveis. Tal fator é de grande importância visto que as tensões serão distribuídas ao longo do comprimento ancorado da barra, que, segundo sucessivas injeções, expande e contempla maiores áreas, fato que contribui para a distribuição de tensões.

A seguir, segundo a NBR 5629 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), são apresentadas as fórmulas indicadas para o cálculo do dimensionamento da seção de aço e para o cálculo do dimensionamento para o bulbo de ancoragem. Para o cálculo do dimensionamento da seção de aço com tirantes permanentes, se utiliza a fórmula 1:

$$\sigma_{adm} = (f_{yk}/1,75)*0,9 \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

σ_{adm} é igual à tensão admissível, em MPa;

f_{yk} é a resistência característica do aço à tração, em MPa.

Para o cálculo do dimensionamento da seção de aço com tirantes provisórios, se utiliza a fórmula 2:

$$\sigma_{adm} = (f_{yk}/1,50)*0,9 \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

σ_{adm} é igual à tensão admissível, em MPa;

f_{yk} é a resistência característica do aço à tração, em MPa.

Para o cálculo do dimensionamento para o bulbo de ancoragem em solos arenosos, se utiliza a fórmula 3:

$$T = \sigma'_z * U * L_b * k_f \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

T é igual à força resistente à tração da ancoragem, em kN;

σ'_z é a tensão efetiva no ponto médio da ancoragem, em kN/cm²;

U é o perímetro médio da seção transversal da ancoragem, em cm;

L_b é o comprimento ancorado, cm;

k_f é igual ao coeficiente de ancoragem indicado na tabela 1.

Tabela 1 - Coeficientes de ancoragem

Solo	Compacidade		
	Fofa	Compacta	Muito compacta
Silte	0,1	0,4	1,0
Areia fina	0,2	0,6	1,5
Areia média	0,5	1,2	2,0
Areia grossa	1,0	2,0	3,0

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006, p. 4)

Para o cálculo do dimensionamento para o bulbo de ancoragem em solos argilosos, se utiliza a fórmula 4:

$$T = \alpha * U * L_b * Su \quad (\text{fórmula 4})$$

Onde:

T é igual à força resistente à tração da ancoragem, em kN;

α é igual ao coeficiente redutor ao cisalhamento (para $Su \leq 40$ kPa, $\alpha = 0,75$ e para $Su \geq 100$ kPa, $\alpha = 0,35$. Entre os dois valores, interpolar linearmente);

U é o perímetro médio da seção transversal da ancoragem, em cm;

L_b é o comprimento ancorado, em cm;

Su é igual à resistência ao cisalhamento não drenado do solo argiloso, em kN/cm².

A NBR 5629 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) acrescenta que a ancoragem em rocha é obtida a partir de uma tensão de aderência rocha-argamassa, devendo ser o menor entre 1/30 da resistência à compressão simples da rocha e 1/30 da resistência à compressão simples da argamassa.

O mesmo texto afirma que o trecho de ancoragem do tirante não pode ser executado nas seguintes situações:

- a) solos orgânicos moles;
- b) aterros ou solos coesivos, com $N \leq$ quatro do ensaio SPT (*Standard Penetration Test*);

c) aterros sanitários.

Onde:

N é igual ao número médio de golpes obtidos no ensaio SPT (SCHNAID; ODEBRECHT, 2012).

3.1.1.2 Cortina de concreto armado

Conforme Tecnosolo (1978), cortinas de concreto armado são cortinas (painéis) esbeltas, devido ao alívio de esforços causados pela protensão dos tirantes. Os tirantes transferem os esforços através do comprimento ancorado por intermédio do bulbo de concreto, que é localizado na extremidade oposta à parede de concreto armado.

Ranzini e Negro Junior (1998) descrevem essa estrutura como contenções que, por estarem ancoradas a estruturas mais rígidas, apresentam menor deslocabilidade, o que pode acarretar em comportamento elastoplástico do maciço contido. Dessa maneira, a rigidez relativa é um conceito de extrema importância, visto que influencia na distribuição e na intensidade dos empuxos na estrutura supracitada.

Segundo os mesmos autores, rigidez relativa é um conceito que se refere à interação entre o painel de contenção e o maciço de solo suportado pelo mesmo. Tal interação envolve deslocamentos, que influenciam a distribuição de tensões, que atuam na face da parede de contenção.

Conforme Tacitano (2006), a classificação de uma parede de contenção como rígida ou flexível está diretamente relacionada com os seguintes fatores:

- a) produto de rigidez (EI);
- b) tipo de escoramento;
- c) distribuição do escoramento;
- d) tipo de solo contido.

Cortinas de concreto armado podem ser diferenciadas quanto à rigidez, uma vez que há a subdivisão dessa estrutura em cortinas Rígidas e em cortinas Flexíveis. Ranzini e Negro Junior (1998) relatam que uma cortina ou parede é flexível quando seus deslocamentos,

devidos a fenômenos de flexão, são suficientes para influenciar de forma significativa a distribuição de tensões aplicadas pelo maciço. Dada a diferença mencionada acima, os autores mencionam que só é possível estabelecer a rigidez de uma cortina se forem feitos cálculos com objetivo da obtenção dos deslocamentos causados por flexão. De posse dos resultados, cabe ao projetista analisá-los averiguando se é possível desprezá-los, conforme as condições adotadas pelo mesmo.

De acordo com Tacitano (2006), para alturas entre dois níveis de escoramento, classificam-se como paredes de contenção rígidas aquelas constituídas por paredes-diafragma, paredes de estacas justapostas, etc. Diferentemente, paredes de contenção constituídas por perfis metálicos com pranchões de madeira ou de concreto e por estacas-prancha são consideradas como paredes flexíveis, haja vista que é menor o produto de rigidez (EI), ocasionando, dessa maneira, maiores deslocamentos horizontais se empregadas nas mesmas condições.

3.2 MÉTODO EXECUTIVO USUAL DE UMA CORTINA ATIRANTADA

Consoante Tecnosolo Engenharia e Tecnologia de Solos e Materiais (1978, p. [29]), o método executivo de uma cortina atirantada, conforme execução descendente, é composto, basicamente, de seis fases bem definidas, sendo elas:

- a) fase 1 - escavação de nichos para colocação dos tirantes alternados (1ª fileira);
- b) fase 2 - perfuração, colocação do tirante, injeção do furo, colocação da placa, protensão com esforço de ensaio, ancoragem da placa com esforço de incorporação;
- c) fase 3 - repetição das operações das fases um e dois, com relação às placas restantes da 1ª fileira;
- d) fase 4 - concretagem da cortina na faixa relativa à 1ª fileira. Repetição das operações das fases um e dois com relação às placas alternadas da 2ª fileira;
- e) fase 5 - repetição das operações da fase três com relação às placas da 2ª fileira, concretagem da cortina na faixa relativa à 2ª fileira;
- d) fase 6 - prosseguimento dos trabalhos da mesma maneira até a conclusão da cortina.

Segundo Ranzini e Negro Junior (1998), a principal dificuldade comum aos vários tipos de escoramento é a impossibilidade de se obter ficha (parte da estrutura embutida no solo) suficiente, ocasionando a necessidade de mais estroncas provisórias para conter os empuxos

atuantes. Outra dificuldade é a fuga de solos finos abaixo do nível do lençol freático, que ocorre devido à falta de estanqueidade. Tal problema pode ser resolvido se for executado o rebaixamento do lençol freático, em que um sistema de filtros impede o transporte das partículas sólidas. Uma vez que o carreamento de partículas sólidas não é impedido, podem ocorrer vazios, que geram o perigo de colapso da estrutura ou grandes recalques não previstos no projeto.

A influência da água é um fator preocupante nesse tipo de estrutura, conforme Ranzini e Negro Junior (1998, p. 505):

A influência da água é marcante na estabilidade de uma estrutura, basta dizer que o acúmulo de água, por deficiência de drenagem, pode chegar a duplicar o empuxo atuante.

O efeito da água pode ser direto, resultante do acúmulo de água junto ao tardo interno do arrimo e do encharcamento do terrapleno, ou indireto, produzindo uma redução da resistência ao cisalhamento do maciço em decorrência do acréscimo das pressões intersticiais.

O efeito direto é o de maior intensidade, podendo ser eliminado ou bastante atenuado por um sistema eficaz de drenagem.

Dado que o objetivo do trabalho é a caracterização de paredes de contenção do tipo cortina de concreto armado atirantada, com atenção às patologias frequentes nessa estrutura e suas causas, será dedicado, exclusivamente, o item 3.3 para execução de tirantes, visto que grande parte das patologias nessas estruturas são devidas a problemas executivos nessa fase crítica.

3.3 MÉTODO EXECUTIVO DE UM TIRANTE

Como fora supracitado, a execução de tirantes é uma fase decisiva na qualidade final da estrutura. São recorrentes problemas envolvendo essas peças na prática de engenharia e a análise de laudos e casos de sinistros apontam que tais eventos têm origem, geralmente, em fases de execução, em que não foram adotados os métodos corretos de construção. A seguir serão apresentadas as principais fases para a execução dos mesmos.

3.3.1 Preparo e montagem

Segundo Yassuda e Dias (1998), inicialmente, o aço é cortado e, se houver a necessidade, emendado no comprimento de projeto (L_b), com o objetivo de se obter as recomendações do projeto estrutural. Os autores recomendam os seguintes aspectos que merecem a devida atenção:

- a) barras de aço: atentar no corte e montagem para que fique com comprimento livre estipulado no projeto, sendo recomendado que se evite emendas no trecho livre. Uma vez que isso não seja possível, essas devem ser posicionadas, preferencialmente, próximo ao bulbo;
- b) fios e cordoalhas: prever um comprimento adicional equivalente a 1,0 m para que seja possível a instalação do equipamento de protensão;
- c) placas de ancoragem: é necessária a devida atenção ao tamanho dessas peças. Uma vez que as mesmas, quando não atendem ao projeto, podem causar o puncionamento do concreto, devido ao pequeno tamanho da placa de ancoragem.

Dado atenção aos itens acima, é indicada a proteção anticorrosiva do aço, conforme a NBR 5629 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006). Essa norma explica que o grau de agressividade do meio em que é instalado o tirante irá orientar a escolha do tipo de cimento adequado para a injeção e a classe de proteção anticorrosiva a ser empregada, objetivando-se atender a vida útil de projeto. Tal agressividade do meio é apresentada conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Agressividade do meio

Dimensões em miligramas por litro

Tipos de águas freáticas	Grau de agressividade do meio		
	Não agressivo	Medianamente agressivo	Muito agressivo
Águas puras ¹ Resíduo filtrável	> 150	150 a 50	< 50
Águas ácidas	pH > 6	pH 5,5 a pH 6	pH < 5,5
Águas ácidas com CO ₂ dissolvido	< 30	30 a 45	> 45
Águas selenitosas Teor de SO ₄ ⁻	< 150	150 a 500	> 500
Águas magnesianas Teor de Mg ⁺⁺	< 100	100 a 200	> 200
Águas amoniacais Teor de NH ₄ ⁺	< 100	100 a 150	> 150
Águas com cloro Teor de Cl ⁻	< 200	200 a 500	> 500
¹ São as águas de montanhas, de fontes, com a ação lixiviante, que dissolvem a cal livre e hidrolisam os silicatos e aluminatos do cimento			

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006, p. 29)

O texto afirma que:

- a) proteção classe um: usada para tirantes inseridos em meio muito agressivo ou medianamente agressivo e para tirantes provisórios em meio muito agressivo. Essa proteção é composta de duas barreiras físicas contra a corrosão em toda a extensão do tirante, sendo elas o cimento e um tubo plástico corrugado ou tubo metálico com espessura mínima de 4,0 mm. Os elementos do trecho livre devem ser protegidos em conjunto (todos envolvidos por um duto plástico e graxa anticorrosiva, sendo envolvidos por outro duto plástico, em que é preenchido com argamassa o vazio entre os dois tubos) ou cada elemento (envolvidos por graxa anticorrosiva ou duto plástico, e o conjunto de elementos por outro duto plástico e injetado com calda de cimento após protensão.)
- b) proteção classe dois: usada para tirantes permanentes em meio não agressivo e tirantes provisórios em meio medianamente agressivo. Mesmo tipo de proteção do trecho livre da classe um, contudo o trecho ancorado deve ser protegido por cimento ou argamassa injetada.
- c) proteção classe três: usada para tirantes não provisórios em meio não agressivo. O trecho livre é protegido por um duto plástico abrangendo todos os elementos

ou por dutos plásticos individuais. O trecho de ancoragem é equipado com centralizadores e protegido com calda de cimento ou argamassa injetada.

Yassuda e Dias (1998) afirmam que as peças podem ser montadas em oficina ou em canteiro de obras. Devem ser tomadas as providências necessárias para que não seja danificada a proteção anticorrosiva durante o transporte e a instalação dos tirantes.

Após serem executados os serviços iniciais citados acima, deve-se executar o furo no qual este será instalado, conforme se apresenta em 3.3.2.

Segue o quadro 1, resumindo os tipos de proteção anticorrosiva.

Quadro1 - Tipos de proteção anticorrosiva

Classe - Aplicação	Proteção
<p><i>Classe 1</i></p> <p>* Tirantes permanentes em meio muito ou medianamente agressivo</p> <p>* Tirantes provisórios em meio muito agressivo</p>	<p>Exigido o emprego de duas barreiras físicas em todo o comprimento (*);</p> <p>* Trecho Ancorado: - revestimento com tubo plástico corrugado ou tubo metálico com espessura mínima de 4 mm. - calda de cimento.</p> <p>* Trecho Livre: a) graxa + duto plástico individual por fio ou cordoalha + duto plástico envolvendo todo o conjunto + cimento entre os dutos; b) ou graxa + duto plástico envolvido por outro duto plástico + cimento no vazio entre os dois dutos + cimento entre o tubo de fora e o terreno.</p>
<p><i>Classe 2</i></p> <p>* Tirantes permanentes em meio não agressivo</p> <p>* Tirantes provisórios em meio medianamente agressivo</p>	<p>* Trecho Ancorado: - utilização de centralizadores de forma a garantir um recobrimento mínimo de 2 cm.</p> <p>* Trecho livre - idêntico a Classe 1.</p>
<p><i>Classe 3</i></p> <p>* Tirantes provisórios em meio não agressivo</p>	<p>* Trecho Ancorado: - utilização de centralizadores.</p> <p>* Trecho Livre: - protensão por um duto plástico abrangendo individualmente cada barra, fio ou cordoalha ou o duto plástico envolvendo o conjunto destes.</p>

(*) Entendendo-se por barreira física de proteção anticorrosiva um dos seguintes componentes:

- películas protetoras sintéticas (tintas e resinas);
- fluidos a base de batume com teor de enxofre inferior a 0,5 % em massa;
- tubo contínuo de polipropileno, polietileno, PVC ou similar;
- graxa, quando houver garantia de recobrimento, continuidade e permanência no local da aplicação e for específica para uso em cabo de aço;
- tratamento superficial de galvanização ou zincagem;
- nata ou argamassa à base de cimento: válida apenas para tirantes provisórios ou como primeira proteção de um sistema duplo e quando utilizado cimento com teores máximos de:
 - cloro total: 0,05 % da massa de cimento.
 - Enxofre: 0,15 % da massa de cimento.

Nota: além do que prescreve a norma, é recomendado o uso de um dispositivo que assegure a continuidade da proteção na transição do trecho livre para a cabeça do tirante. Este dispositivo pode ser um tubo de PVC, engastado na estrutura de concreto, com comprimento sobressaindo do concreto e penetrando no terreno, em cerca de 40 cm, à semelhança da recomendação da norma francesa TA 77 (TA. 1977)

(fonte: YASSUDA; DIAS, 1998, p. 629)

3.3.2 Perfuração

A NBR 5629 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) enuncia que tolera qualquer sistema para a perfuração, que não deteriore a resistência do terreno. É necessário que o furo resultante seja retilíneo, com diâmetro, inclinação e comprimentos previstos no projeto. É mencionado, que o sistema de perfuração deve garantir que o furo permaneça aberto até que ocorra a injeção de aglutinante, com essa finalidade é permitido o uso de revestimento de perfuração e/ou fluido estabilizante.

Realizada a perfuração, o próximo passo é a instalação do tirante na cavidade, conforme o item a seguir.

3.3.3 Instalação do tirante

Segundo Yassuda e Dias (1998), os cuidados necessários são:

- a) não ferir a proteção anticorrosiva;
- b) não deslocar acessórios (válvulas e espaçadores);
- c) posicionar a cabeça na altura correta.

A NBR 5629 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) comunica que antes da instalação de cada tirante seja averiguado se a proteção anticorrosiva não apresenta falhas no instante da instalação, especialmente nos locais de emenda, que devem ser inspecionados e corrigidos, quando necessário. Outra verificação é a correspondência dos dispositivos de fixação da cabeça com as necessidades estruturais.

Dada as devidas verificações, a instalação da peça é o processo em que se insere o tirante no furo, previamente executado. A próxima fase de execução consiste na injeção de calda de cimento, podendo esta ser realizada antes da locação do tirante no furo.

3.3.4 Injeção

A injeção da peça pode ser feita com a utilização de calda de cimento ou outro aglutinante, conforme especificado em projeto. Essa fase pode ser realizada em um único estágio ou em múltiplos, sendo o projetista o responsável por tal escolha, uma vez que a tomada de decisão será feita segundo critérios de campo. A escolha não deve afetar a capacidade de carga do elemento e deve ser garantido o total preenchimento do furo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

Yassuda e Dias (1998) afirmam que a seguinte metodologia, para execução em um único estágio, é comprovada pela prática, conforme a sequência:

- a) perfuração com revestimento até o final do furo;
- b) lavagem final do furo com água para a remoção de detritos de escavação e bentonita, se utilizada;
- c) ou limpeza com ar comprimido, caso esse tenha sido o processo de perfuração;
- d) preenchimento total do furo com calda de cimento;
- e) introdução do tirante;

- f) instalação da cabeça de injeção no revestimento;
- g) injeção de calda de cimento sob pressão simultaneamente à retirada do revestimento do furo.

Os mesmos autores explicam que a injeção em múltiplos estágios é o sistema mais eficiente e seguro. Diferentemente do estágio em que há uma única fase de injeção, na execução em múltiplos estágios, é instalado um tubo de injeção paralelo ao tirante, que permite o livre deslocamento de um obturador em seu interior, em que são instaladas válvulas reinjetáveis. O obturador controla a aplicação da pressão e do volume de calda de cimento conforme a necessidade em tantos estágios quantos forem necessários.

Os escritores elucidam a sequência executiva, do método de injeção em múltiplos estágios, conforme os seguintes passos:

- a) após a instalação do tirante no furo, é feita a injeção de calda até que haja o preenchimento do furo. Essa injeção é conhecida como injeção de bainha;
- b) após a pega do cimento na bainha (cerca de 10 horas), é realizada a injeção primária. Nesta fase, as válvulas são injetadas individualmente com auxílio do obturador duplo;
- c) seguindo-se a injeção, a calda irá preencher os vazios ou falhas da bainha, comprimindo o terreno e causando a ruptura hidráulica do mesmo (clacagem). Em solos de consistência mediana, usualmente são utilizadas pressões entre 1 e 3 MPa. Quanto aos volumes de cimento, se utiliza 0,5 a 1 saco de cimento por válvula, conforme especificação de projeto;
- d) ao término da injeção nesse estágio, é feita a lavagem do tubo;
- e) caso não seja atingida a pressão de injeção adequada, na injeção primária, se repete o processo com novos estágios (injeção secundária, terciária, etc.), que só podem ser executadas após o tempo de pega do cimento do estágio anterior.

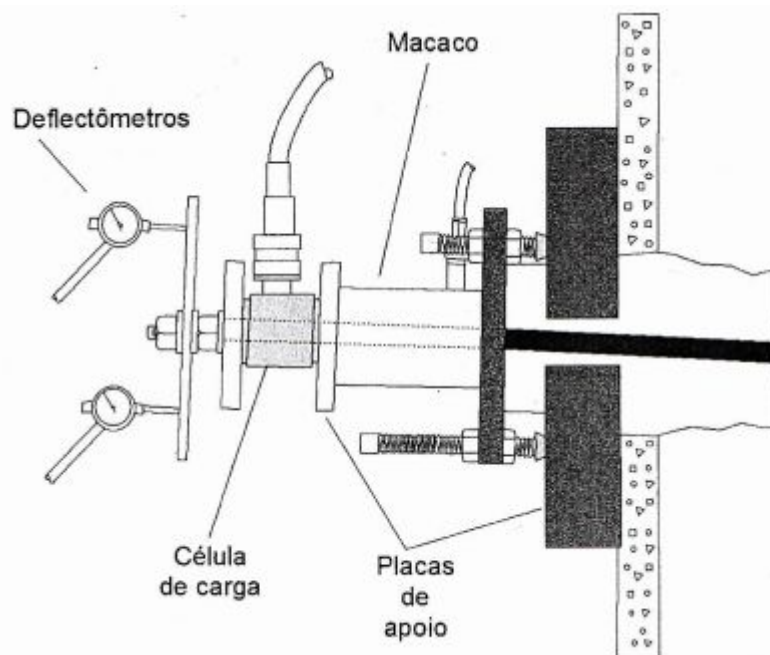
3.3.5 Protensão

De acordo com a NBR 5629 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), todos os tirantes de obra devem ser sujeitos a ensaios de protensão.

A protensão do tirante é normalmente realizada contra a estrutura a ser suportada, através de um conjunto composto de macaco hidráulico, bomba e manômetro, conforme figura 4. Tal instrumento deve ser calibrado e aferido, no mínimo, uma vez ao ano, visto que um erro de 10% na leitura do manômetro pode comprometer o elemento estrutural. A limitação da carga

máxima a ser utilizada em qualquer tipo de ensaio não pode atingir 90% da carga teórica de escoamento do material. Com o objetivo de se calcular a carga máxima, deve ser considerada a menor seção da peça, que sofrerá os esforços de tração. No caso de tirantes com barras rosqueadas, essa localização é na rosca (YASSUDA; DIAS, 1998).

Figura 4 - Conjunto composto de macaco hidráulico, bomba e manômetro



(fonte: FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO, 2014, p.51)

Os mesmos autores acrescentam que podem ocorrer dois tipos de problemas em obras mal controladas:

- a) ocorrência de deformações excessivas, fissuras e, inclusive, ruptura da estrutura. Essas patologias ocorrem devido ao teste da cortina sem o término do aterramento, ou quando há a carência de compactação do solo.
- b) em cortinas executadas segundo o método descendente, em que um tirante é ensaiado antes da escavação dos níveis subjacentes, há a possibilidade de um carregamento excessivo, em que pode ocorrer ruptura por empuxo passivo. Essa condição ocorre no caso em que a carga no tirante é calculada pelo empuxo ativo médio.

Devido à importância para a qualidade final da estrutura, a seguir, será destinado o subcapítulo 3.4 para tratar especificamente dos ensaios que devem ser realizados.

3.4 ENSAIOS REALIZADOS NOS TIRANTES

Conforme a NBR 5629 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006, p. 2, 3.12) ensaios de tirantes são “Procedimentos executados para a verificação do desempenho de um tirante, classificados em básico, de qualificação, de recebimento e de fluência.”.

O mesmo texto enfatiza que os ensaios podem ser executados reagindo contra a estrutura, ou contra o solo. Os procedimentos só podem ser executados após um tempo mínimo de cura, que varia conforme o cimento utilizado, sendo, para cimento Portland comum, sete dias e, para cimento de alta resistência inicial, três dias. As cargas devem ser aplicadas através do conjunto macaco hidráulico-bomba-manômetro. Inicialmente a força de tração aplicada deve ser obtida através da fórmula 4.

$$F_o = 0,1 * f_{yk} * S \quad (\text{fórmula 4})$$

Onde:

F_o = força inicial de tração, em kN;

f_{yk} = resistência característica à tração do tirante, em kN/cm²;

S = área da menor seção transversal do tirante, em cm².

3.4.1 Ensaio básico

O ensaio tem o propósito de verificar a qualidade do tirante, levando em consideração estudo completo de geotecnia, do solo em que é instalada a peça, e o estudo detalhado do bulbo. O ensaio básico é realizado após o ensaio de qualificação. É o ensaio mais completo e detalhado, visto que é executada uma escavação e se verificando a qualidade da injeção, a definição do comprimento livre do tirante e a centralização do mesmo no bulbo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006; YASSUDA; DIAS, 1998).

3.4.2 Ensaio de qualificação

Conforme a NBR 5629 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), o ensaio permite determinar a capacidade de carga, avaliar os comprimentos livre e ancorado executados, e o atrito ao longo do trecho livre. Tal ensaio deve ser obrigatoriamente executado em pelo menos 1% dos tirantes da obra, por tipo de terreno e por tipo de tirante, com um mínimo dois ensaios por obra. O carregamento deve seguir à seguinte sistemática:

- a) o ensaio começa com a carga inicial (F_0) e segue pelos estágios $0,4 F_t$; $0,75 F_t$; $1,0 F_t$; $1,25 F_t$; $1,5 F_t$ e $1,75 F_t$. Para tirantes provisórios a carga máxima de ensaio é $1,5 F_t$, enquanto que para tirantes permanentes, é $1,75 F_t$;
- b) após cada estágio, a partir de $1,75 F_t$, deve ser procedido o alívio até F_0 ;
- c) a carga máxima do ensaio deve ser correspondente à carga de trabalho (F_t), multiplicada pelo fator de segurança adotado, jamais ultrapassando a $0,9 \cdot f_{yk} \cdot S$.

Yassuda e Dias (1998) informam que as medidas dos deslocamentos da cabeça devem ser feitas com extensômetro com sensibilidade de 0,01 mm. Os autores indicam as seguintes etapas para execução:

- a) posicionamento do equipamento (macaco hidráulico-bomba-manômetro), sobre estrutura de reação, com eixos do tirante e do equipamento alinhados;
- b) o ensaio somente é iniciado mediante aplicação de uma carga inicial, com o objetivo de 'acomodação' do equipamento;
- c) aplicação de carga de cada estágio e descarga até retornar F_0 , medindo os deslocamentos totais (d) no final de cada estágio e do deslocamento plástico (d_p) no final do último estágio de descarga (F_0). Os estágios de carga são indicados no quadro 2.
- d) no final de cada estágio de carga (antes da descarga), os deslocamentos devem ser observados até que se atinja a estabilização, conforme o quadro 2.

Quadro 2 - Estágios de carga e critérios de estabilização do ensaio de qualificação

Estágio	Tipo de solo	Critério
F_o	(início do ensaio)	$(F_o \sim 0,1 * f_{yk} * S_f)$
$0,40 * F_t$	qualquer	< 0,1 mm em 5 minutos
$0,75 * F_t$	qualquer	< 0,1 mm em 5 minutos
$1,00 * F_t$	arenosos	< 0,1 mm em 15 minutos
$1,00 * F_t$	argilosos ou duvidosos	< 0,1 mm em 30 minutos
$1,25 * F_t$	qualquer	< 0,1 mm em 60 minutos
$1,50 * F_t$	qualquer	< 0,1 mm em 60 minutos
$1,75 * F_t$	qualquer	< 0,1 mm em 60 minutos

(fonte: YASSUDA; DIAS, 1998, p. 634)

3.4.3 Ensaio de recebimento

Sua finalidade é controlar a capacidade de carga e o comportamento de todos os tirantes de uma obra. O ensaio de recebimento parte, inicialmente, da carga inicial (F_o) e segue a sequência de carregamento indicada no quadro 3, segundo o tipo de ensaio. Posteriormente, a cada carregamento, deve-se diminuir o carregamento até o valor inicial (F_o), medindo deslocamentos da cabeça para todos os estágios de carga, tanto na fase de carregamento, quanto na fase de descarregamento. Na carga máxima, os deslocamentos da cabeça devem ser menores que 1 mm. Tal valor não deve ser alcançado em 5 min, em solos arenosos, e após 10 min para solos argilosos ou não arenosos. Para tirantes definitivos, é necessário executar o ensaio do tipo A em pelo menos 10% dos tirantes da obra e do tipo B nos tirantes restantes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006; FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO, 2014).

Quadro 3 - Cargas aplicadas no ensaio de recebimento

Tirante	Ensaio	Estágios de carga e descarga
Permanente	Tipo A	Fo e 0,3Ft; 0,6Ft; 0,8Ft; 1,0Ft; 1,2Ft; 1,4Ft; 1,6Ft e 1,75Ft
Permanente	Tipo B	Fo e 0,3Ft; 0,6Ft; 0,8Ft; 1,0Ft; 1,2Ft; 1,4Ft
Provisório	Tipo C	Fo e 0,3Ft; 0,6Ft; 0,8Ft; 1,0Ft; 1,2Ft; 1,5Ft
Provisório	Tipo D	Fo e 0,3Ft; 0,6Ft; 0,8Ft; 1,0Ft; 1,2Ft

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006, p. 16)

A NBR 5629 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006, p. 16) explica que se o tirante não resistir o carregamento exposto no quadro 3, deve-se adotar as alternativas a seguir:

- a) ser reavaliado o método construtivo e o comprimento do bulbo;
- b) ser reiniciado o procedimento de ensaio tipo A nos próximos cinco tirantes executados;
- c) ser aceito com carga de trabalho inferior, igual à maior carga estabilizada dividida pelo fator de segurança, desde que essa situação seja compatível com o projeto, sendo que, neste caso, é obrigatória a verificação do projeto e a execução de ensaio de fluência neste tirante ou ser executado outro tirante em substituição ao reprovado, no mesmo local ou nas proximidades, sendo que, neste último caso, é obrigatória a verificação do projeto;
- d) no caso de tirante reinjetável, este pode ser reinjetado e repetido o ensaio.

Se o deslocamento máximo da cabeça ultrapassar os deslocamentos máximos recomendados, a NBR 5629 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006, p. 16) orienta:

- a) ser repetido o ciclo de carga, com a finalidade de soltar o trecho livre;
- b) ser reavaliado o projeto para verificar se o tirante pode ser reaproveitado como está;
- c) ser aceito o tirante com carga inferior, reduzindo-se do bulbo o acréscimo de atrito observado no trecho livre;
- d) ser executado ensaio de qualificação para reavaliação do comportamento do tirante.

3.4.4 Ensaio de fluência

Yassuda e Dias (1998, p. 635) dizem que “O ensaio de fluência é executado para ancoragens permanentes, com o objetivo de se avaliar o desempenho das mesmas sob cargas de longa duração.”.

Segundo a NBR 5629 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), o ensaio consiste em medir deslocamentos na cabeça do tirante, que é tracionado pelo macaco hidráulico, em intervalos de 10 min, 20 min, 30 min, 40 min, 50 min e 60 min. O ensaio deve ser executado com carga constante em cada intervalo de tempo mencionado, segundo os carregamentos: $0,75 F_t$; $1,0 F_t$; $1,25 F_t$; $1,5 F_t$ e $1,75 F_t$. Visto que os mesmos carregamentos são utilizados no ensaio de qualificação, o documento informa que é possível executar ambos os ensaios em um procedimento único. Após 60 min, o ensaio pode ser considerado concluído caso o deslocamento nos últimos 30 min for inferior a 5% do deslocamento total do ensaio, caso contrário, devem ser procedidas medições a cada 30 min até atingir a condição supracitada.

O quadro 4 apresenta a informação a cima de forma mais direta.

Quadro 4 - Estágios de carga e critérios de estabilização do ensaio de fluência

Estágio	Critério
Fo	início do ensaio: $F_o \sim 0,1 * f_{yk} * S$ ou $0,1 * f_{yk} * S$
$0,75 * F_t$	10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos.
$1,00 * F_t$	A partir de 60 min., os deslocamentos medidos nos últimos 30 min. Devem ser inferiores a 5 % do deslocamento total do ensaio. Caso contrário, prosseguir com medições de mais 30 min.
$1,25 * F_t$	
$1,50 * F_t$	
$1,75 * F_t$	

(fonte: YASSUDA; DIAS, 1998, p. 635)

4 MODOS DE DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO

O presente capítulo dissertará sobre os modos de degradação em estruturas de concreto armado. Com esse objetivo, serão abordados os principais mecanismos de degradação atuantes nessas estruturas, focando em situações de possível ocorrência na estrutura de estudo.

Nesse ínterim, serão abordadas considerações gerais sobre o tema proposto, bem como a diferenciação dos tipos de patologias nas etapas de um projeto. Finalmente, serão abordadas as causas e os modos de deterioração das estruturas.

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Souza e Ripper (1998, p. 23) afirmam que:

“O surgimento de problema patológico em dada estrutura indica, em última instância e de maneira geral, a existência de uma ou mais falhas durante a execução de uma das etapas da construção, além de apontar para falhas também no sistema de controle de qualidade próprio a uma ou mais atividades.”.

Reforçando a idéia de que problemas patológicos são devidos a falhas em diferentes etapas da construção e da vida útil da mesma, o quadro 5 apresenta a análise percentual das causas de problemas patológicos em estruturas de concreto segundo a análise de diferentes autores.

Quadro 5 - Análise percentual das causas de problemas patológicos em estruturas de concreto

FONTE DE PESQUISA	Causas dos problemas patológicos em estruturas de concreto				
	Concepção e projeto	Materiais	Execução	Utilização e outras	Total (%)
Edward Grunau Paulo Helene (1992)	44	18	28	10	100
D. E. Allen (Canadá) (1979)	55	49			104
C.S.T.C (Bélgica) Verçoza (1991)	46	15	22	17	100
C.E.B Boletim 157 (1982)	50	40		10	100
Falculdade de Engenharia da Fundação Armando Álvares Penteadó Verçoza (1991)	18	6	52	24	100
B.R.E.A.S. (Reino Unido) (1972)	58	12	35	11	116
Bureau Securitas (1972)	88			12	100
E.N.R. (U.S.A.) (1968 - 1978)	9	6	75	10	100
S.I.A. (Suíça) (1979)	46		44	16	106
Dov Kaminetzky (1991)	51	40		16	107
Jean Blévot (França) (1974)	35		65		100
L.E.M.I.T (Venezuela) (1965 - 1975)	19	5	57	19	100

(fonte: adaptado de SOUZA; RIPPER, 1998, p. 23)

Segundo a análise do quadro supracitado, é evidente que existe uma grande variabilidade, segundo os autores, das causas dos problemas patológicos em estruturas de concreto. Tal fenômeno é devido aos diferentes tipos de estruturas estudadas, aos diferentes tipos de materiais utilizados e aos diferentes tipos de métodos construtivos utilizados. É perceptível que alguns autores relatam somatórios superiores a 100%, isso ocorre, pois, os mesmos, segundo Souza e Ripper (1998), utilizaram critérios cumulativos em que a falha existente na etapa de concepção e projeto causa mais falhas nas etapas posteriores.

Dessa forma os mecanismos de degradação em estruturas de concreto armado são dependentes das falhas existentes em diferentes etapas de construção das estruturas, bem

como do tipo de estrutura. Consoante Souza e Ripper (1998), a diferenciação de patologias segundo a etapa construtiva se dá conforme:

- a) patologias geradas na etapa de concepção da estrutura (projeto): o mesmo autor afirma que as dificuldades técnicas e o custo para solucionar um problema que teve origem em uma falha de projeto são diretamente proporcionais à ‘antiguidade da falha’, dessa forma gerando patologias de recuperação.
- b) patologias geradas na etapa de execução da estrutura (construção): nessa etapa é possível a ocorrência de erros de diversas causas, sendo elas: falta de condições de trabalho, não capacitação da mão de obra, inexistência do controle de qualidade de execução, má qualidade de materiais e, até mesmo, irresponsabilidade técnica. Contudo, tais problemas podem ser evitados se houver um controle adequado da qualidade de execução, que, muitas vezes, é deficiente ou inexistente. Erros graves como posicionamento e quantidade de armaduras, qualidade do concreto e locação adequada de fôrmas são decorrentes da má fiscalização no canteiro. O autor afirma que a questão da deficiência na formação e, conseqüentemente, na qualidade técnica dos envolvidos no processo de construção civil, é considerado como o fator principal para a não obtenção de estruturas duráveis ou de bom desempenho.
- c) patologias geradas na etapa de utilização (manutenção): é possível a analogia com um equipamento mecânico que, para ter bom desempenho ao longo de sua vida útil, deve ter manutenção periódica em elementos onde o desgaste e a deterioração serão maiores. Dessa maneira, as estruturas em concreto armado devem possuir obrigatoriamente um plano de manutenção. Os problemas ocasionados por falta de manutenção ou manutenção inadequada se originam no desconhecimento técnico básico, na incompetência e em problemas econômicos. No que se refere à falta de verbas conjuntamente com deficiência no planejamento de manutenção, as patologias geradas tendem a maiores gravidades, implicando maiores gastos e, em alguns casos, a demolição da estrutura.

4.2 CAUSAS DA DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS

Ao se estudar uma estrutura de concreto apresentando problemas patológicos é preciso saber o que levou o surgimento e o desenvolvimento das ‘doenças’, sendo necessário desvendar as causas para que seja correta a medida mitigadora a ser tomada. Dessa forma, o conhecimento da origem da degradação é imprescindível para seja tomada a atitude certa no reparo, visando a não ocorrência do problema futuramente.

A seguir serão listadas as principais causas de degradação em estruturas de concreto armado.

4.2.1 Falhas humanas durante a construção da estrutura

A falha humana é frequente nessas estruturas e se relaciona com a deficiência de qualificação profissional da equipe técnica. Segundo Souza e Ripper (1998), as principais falhas desse tipo são:

- a) deficiência na concretagem: tal processo engloba o transporte, lançamento e adensamento. Imperfeições nessa fase podem causar segregação entre agregado graúdo e a argamassa, formação de ninhos de concretagem e cavidades no concreto. Lançamentos mal executados podem gerar: deslocamento da armadura, segregação dos componentes, e, quando em plano inclinado, o acúmulo de água exsudada, criando pontos frágeis na estrutura devido à segregação gerada, facilitando a corrosão de peças metálicas. Adensamentos mal executados podem gerar: formação de cavidades e ninhos de concretagem e irregularidades na superfície, ocasionando aumento da porosidade superficial. Curas inadequadas aumentam as deformações causadas por retração, gerando fissuração do concreto, o que impacta diretamente a resistência e a durabilidade da estrutura. É importante salientar que quanto maior for o tempo de cura, melhores serão os parâmetros de resistência do concreto como tensão de ruptura, impermeabilidade e resistência ao desgaste e a ataques químicos;
- b) deficiência nas armaduras: problemas causados por erros na locação são frequentes e têm causas muito variáveis. Dessa forma, as deficiências mais frequentes são:
 - inversão do posicionamento ou troca entre armaduras;
 - insuficiência de armaduras;
 - mau posicionamento das armaduras por falta de espaçadores;
 - cobertura insuficiente;
 - deficiência no sistema de ancoragem devido a não execução do comprimento de ancoragem necessário;
 - deficiência nas emendas devido a grandes concentrações de barras emendadas em uma seção;
- c) utilização incorreta de materiais da construção: problema que se caracteriza por falhas geradas por incompetência ou dolo. No entanto, de caráter mais sério, visto que se refere a decisões que competem a engenheiros ou encarregados da obra. São exemplos dessa prática:
 - utilização de concreto com f_{ck} inferior ao especificado;
 - utilização de aço com características diferentes das solicitadas (menores bitolas);
 - utilização de agregados reativos, gerando reações expansivas no concreto, desagregação e fissuração do mesmo;
 - utilização inadequada de aditivos;
 - dosagem inadequada do concreto;

- d) inexistência de controle de qualidade: prática amplamente frequente, sendo, provavelmente, a maior de todas as causas que tem relação com falhas humanas na construção, uma vez que o não cumprimento dessa tarefa torna possível grande parte das causas já mencionadas.

4.2.2 Falhas humanas durante a utilização da estrutura

Assim como na fase de construção, as falhas na utilização das estruturas são frequentes, sejam elas geradas tanto por falta de manutenção, quanto por mau uso dos proprietários. Dessa maneira, as principais ocorrências de erros durante a utilização, segundo Souza e Ripper (1998), são:

- a) alterações estruturais: são casos mais frequentes a supressão de paredes portantes e a abertura de furos em vigas ou lajes sem avaliação da implicação estrutural;
- b) sobrecarga não dimensionada;
- c) alteração nas condições do terreno da fundação: alterações das condições de estabilidade e compressibilidade do terreno, sendo geradas por escavações e alterações do nível do lençol freático, resultando em recalques inesperados;
- d) inexistência de plano de manutenção preventiva.

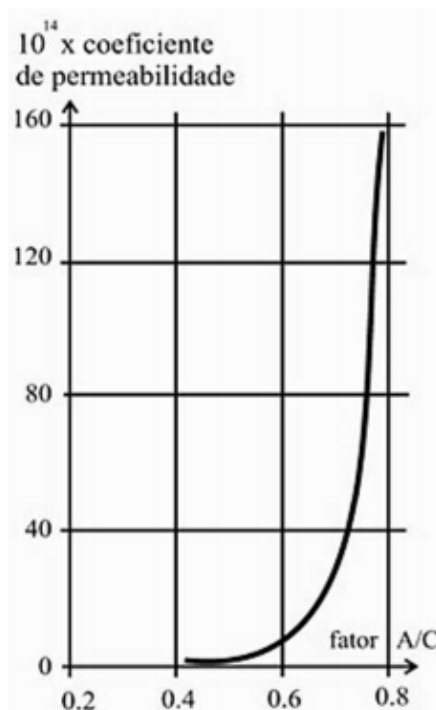
4.2.3 Falhas naturais de deterioração que competem ao concreto

Diferentemente das falhas anteriores, o concreto, por si só, possui falhas naturais inerentes ao material de que é composto, à sua sensibilidade ao ambiente e aos esforços a que o mesmo é solicitado. Dessa maneira, as patologias apresentadas não resultam de falhas humanas, contudo podem ser mitigadas pelos os mesmos. Souza e Ripper (1998) afirmam que as causas naturais de falhas desse material são:

- a) estrutura porosa: para o concreto convencional, a resistência não é o ponto crítico, visto que ela pode ser obtida de modo trivial. Contudo, há grandes esforços na obtenção de concretos duráveis, ou seja, com baixos índices de porosidade e permeabilidade. Quanto mais permissivo um concreto for ao transporte interno de água, gases e outros agentes agressivos, maior será a degradação nas armaduras. Nesse caso, a porosidade aliada a condições ambientes extremas é o fator crítico de degradação da estrutura, sendo que somente temos controle da porosidade do concreto. Com o objetivo de diminuir esse fator, basicamente, é necessário diminuir o fator água/cimento e impedir a

evaporação da água de hidratação da pasta através de uma cura adequada. A figura 5 exprime a importância de baixos fatores água/cimento em relação à permeabilidade;

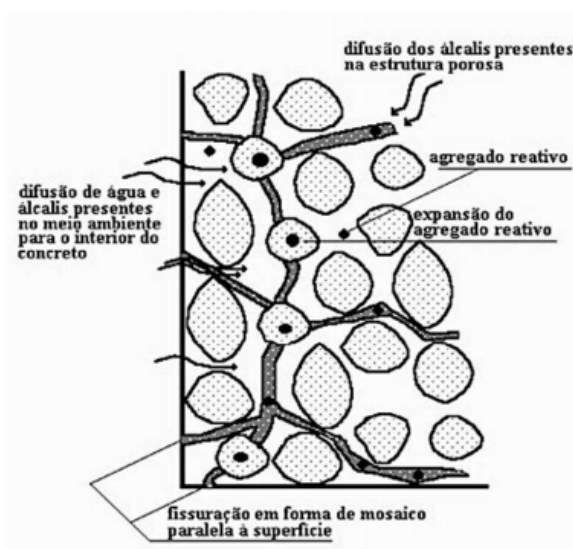
Figura 5 - Gráfico da relação a/c x coeficiente de permeabilidade



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 36)

- b) causas químicas: com o objetivo de aderência entre o cimento e os agregados, são necessárias combinações químicas entre os mesmos e os componentes hidratados do cimento. Contudo, há casos em que ocorrem reações químicas de origem expansivas, que atuam com efeitos contrários aos desejados, anulando a coesão entre os materiais. As perturbações indesejadas são:
- reação álcalis-agregado: resultante da interação entre sílica reativa de alguns tipos de agregados e os íons álcalis (N^+ e K^+) existentes nos cimentos, sendo liberados durante a hidratação do cimento. Caracteriza-se pela formação adicional de sólidos em meio confinado, gerando, inicialmente, a fissuração superficial do concreto com posterior desagregação com crateras profundas, podendo escorrer gel de sílica. A adição de pozolonas pode inibir ou, até mesmo, evitar tal processo, sendo recomendado a sua utilização em cimentos com altos teores de álcalis. A figura 6 exemplifica o relatado;

Figura 6 - Reação álcalis-agregado



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 37)

- reação álcalis-dolomita: resultante da expansão dos cristais de calcário dolomítico em soluções de hidróxido de sódio, presentes nos cimentos. Tem maior gravidade se comparada com a reação anteriormente citada, uma vez que a única forma de contê-la é com a utilização de cimentos com mínima quantidade de álcalis. Nesse caso, a adição de pozolanas não impede a ocorrência do fenômeno. Dessa forma, é extremamente necessária a avaliação de reatividade dos calcários, objetivando a prevenção do problema;
- reação entre rochas caulinizadas: reação em que ocorre a formação do sulfoaluminato tricálcico, através da interação entre a alumina, presente nas rochas, e o cálcio, presente no cimento. O composto formado é expansivo e pode ser inibido através da adição de pozolanas ao cimento;
- presença de cloretos no concreto: Souza e Ripper (1998) afirmam que:

“Os cloretos podem ser adicionados involuntariamente ao concreto a partir da utilização de aditivos aceleradores do endurecimento, de agregados e de águas contaminadas, ou a partir de tratamentos de limpeza realizados com ácido muriático.”;

É importante salientar que é comum a penetração dessas substâncias através da estrutura porosa do concreto. Dessa maneira, mesmo que haja cuidado na seleção de materiais, é possível a ocorrência dessa anomalia em concretos com relação água/cimento elevada. Tal fenômeno se caracteriza por acelerar o processo de corrosão das peças metálicas e por aumentar a fissuração interna e superficial das peças em concreto armado. Por essa razão, a presença de cloretos é limitada por norma a 0,4% do peso de cimento, haja vista que valores inferiores não irão romper a camada protetora da armadura quando existir a presença de umidade e oxigênio;

- presença de anidrido carbônico (CO_2): O CO_2 presente na atmosfera é transportado para o interior do concreto, sendo mais agressivo em peças com maior índice de porosidade. Uma vez alocado, o mesmo reage com o

hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) presente na água do concreto, formando o carbonato de cálcio (CaCO_3), que implica na carbonatação do concreto (redução do pH para valores inferiores a 9). A carbonatação será abordada em um tópico específico mais a frente, visto que é uma das principais patologias nessas peças e contribui para a formação de quadros graves quando não observada precocemente. A fórmula 5 exprime a reação de formação do carbonato de cálcio;



Onde:

Ca(OH)_2 = hidróxido de cálcio;

CO_2 = anidrido carbônico;

CaCO_3 = carbonato de cálcio;

H_2O = monóxido de hidrogênio.

- presença de água: como já mencionado anteriormente, o transporte de água através dos poros do concreto resulta na dissolução do hidróxido de cálcio, diminuindo os valores de pH do mesmo e precipitando gel de sílica ou de alumina com conseqüente desagregação do compósito;
- elevação da temperatura interna do concreto: a reação de cimentação é exotérmica. A quantidade de calor liberada pode causar problemas na concretagem de elementos de grande porte, gerando um gradiente térmico, que pode ocasionar na fissuração interna do concreto.
- presença de raízes e algas: o ataque químico de ácidos ocasionados pelo crescimento de raízes de plantas e algas que se instalam nas fissuras e poros do concreto é a principal processo biológico atuante em estruturas de concreto que, com a introdução de anidrido carbônico, contribuem para a carbonatação do concreto.

4.3 PROCESSOS DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Os processos de deterioração são variados e são devidos a diversas causas, sendo elas geradas na fase de projeto ou na fase de execução e, até mesmo em ambas as fases. Contudo, o somatório de erros de projeto aliados à incoerências construtivas, como métodos construtivos inadequados, mão-de-obra tecnicamente deficitária, má fiscalização, etc., pode ocasionar o enfraquecimento da estrutura, oportunizando maiores facilidades para a atuação de agentes deteriorantes.

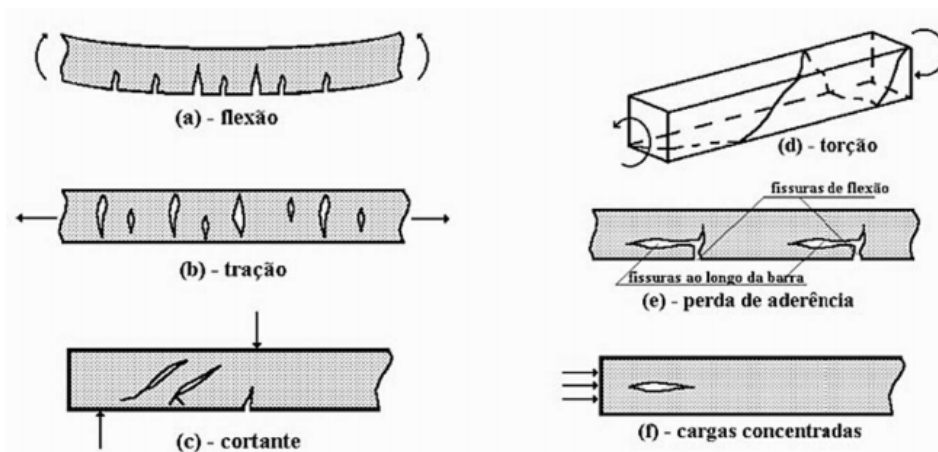
Souza e Ripper (1998, p. 57) afirmam que:

“A busca de soluções e o estabelecimento dos métodos a serem adotados para recuperar ou reforçar uma estrutura de concreto só poderão ser bem-sucedidos se forem cuidadosamente estudadas e analisadas, em conjunto, as condições físicas, químicas, ambientais e mecânicas às quais a estrutura está submetida, as causas da sua deterioração (que podem ser múltiplas) ou os seus efeitos (sintomas patológicos).”.

A seguir serão listadas as principais patologias presentes no processo de degradação das estruturas em concreto armado. Segundo Souza e Ripper (1998), são elas:

- a) fissuração: é considerada como a patologia característica das estruturas de concreto, dada sua recorrência. Contudo, é necessário estudar o quadro de fissuração quanto à origem, intensidade e magnitude, uma vez que só considerada como deficiência estrutural quando o mesmo é exposto a tensões trativas maiores que a resistência última a tração. As causas mais frequentes de fissuras são:
- deficiências de projeto: estão relacionadas com o tipo de esforço a que estão submetidas. A figura 7 revela a tipologia de fissuras segundo o esforço a que a peça está submetida;

Figura 7 - Tipos de fissuras conforme esforços presentes na peça

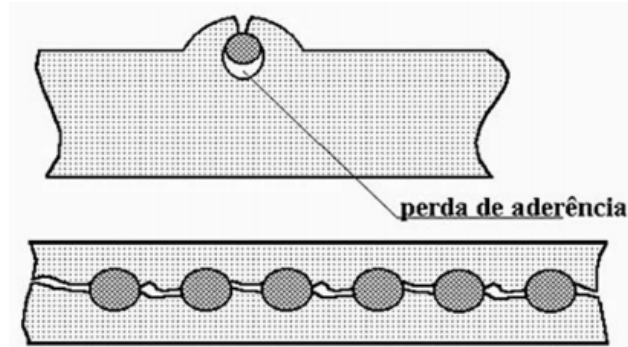


(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 58)

- contração plástica do concreto: caso em que a fissuração ocorre antes da pega do concreto devido à evaporação rápida da água. A massa se contrai de forma irreversível, podendo ocorrer imediatamente após o lançamento do concreto. Ocorre principalmente em grandes peças e se caracterizam por fissuras paralelas entre si, fazendo ângulos de 45° com os cantos;
- perda de aderência das barras da armadura: acontecem no processo de assentamento do concreto, devido a grandes espessuras de concretagem. Caracterizam-se por acompanharem longitudinalmente as armaduras, criando

vazios abaixo das barras. Possuem séria gravidade em estruturas com altas taxas de armadura, uma vez que há a interação entre as mesmas, potencializando a perda total de aderência, conforme figura 8;

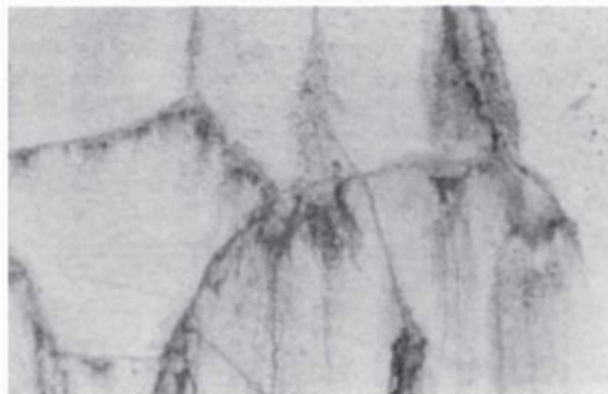
Figura 8 - Fissuras causadas por perda de aderência das barras da armadura



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 62)

- retração do concreto: a retração do concreto é um movimento natural do componente. Contudo, falhas causadas por não considerar tal comportamento em projetos, podem desenvolver a formação de trincas, conforme exposto na figura 9. Em casos de concretagem de grandes peças, é de fundamental importância uma cura adequada, de modo que haja, em todo o processo, a água necessária para a o ganho de resistência do concreto sem a formação de fissuras;

Figura 9 - Fissuras causadas por retração do concreto



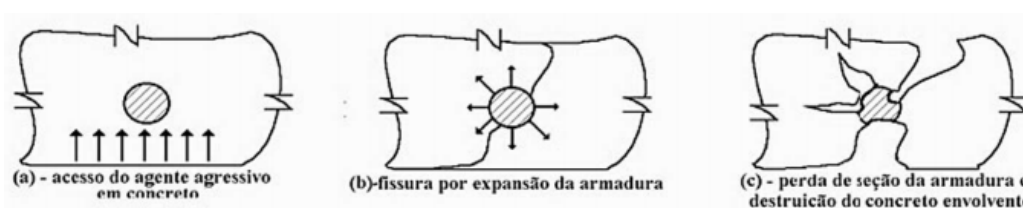
(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 63)

- falhas na execução: por se tratar de um modo de produção, muitas vezes, artesanal, falhas na execução são recorrentes, podendo gerar fissuras de diferentes formas. Contudo, tal problema é mitigado quando a mão-de-obra possui conhecimento técnico para a confecção da peça, sendo que a fiscalização é a etapa em que será conferido controle à produção. Desse

modo, falhas na execução não são toleradas quando há uma fiscalização eficiente do andamento da construção;

- reações expansivas: reações álcali-agregado, como visto anteriormente, dão origem a fissuração pela formação de um gel expansivo no interior da peça concretada. Tal fenômeno se caracteriza por apresentar fissuração desordenada na superfície exposta. Diferentemente das falhas ocorridas por retração, através de uma cura indevida, em que poucas semanas após à concretagem é possível ver as fissuras, as reações expansivas apresentam sintomas em prazos de tempo superiores a um ano. A gravidade de tal processo está no fato de que há a fissuração interna e externa da peça, afetando drasticamente a durabilidade, uma vez que a velocidade de ataque dos constituintes interiores das peças é elevada;
- corrosão das armaduras: a ocorrência de fissuras se justifica uma vez que, ao se oxidar, o ferro cria óxido de ferro hidratado ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) que ocupa maior espaço no interior do concreto. A pressão exercida pode chegar a 15 MPa, sendo, dessa forma, suficiente para fissurar o concreto. No que se refere a dimensão das barras, uma barra de aço sob processo de corrosão pode ter um aumento de dez vezes em seu volume original. A figura 10 ilustra a instalação do processo de corrosão em armaduras;

Figura 10 - Instalação do processo de corrosão em armaduras



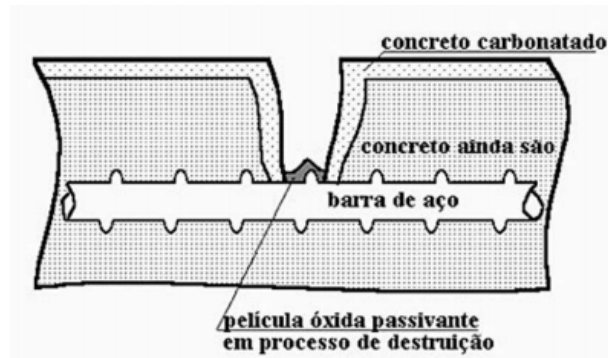
(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 68)

b) desagregação do concreto: patologia recorrente causada por múltiplos fatores, ocorrendo concomitantemente com a fissuração. No entanto, esse fenômeno se mostra com maior gravidade, visto que há a separação de placas do concreto. Nesses casos, a peça de concreto deixa de apresentar comportamento monolítico devido à deterioração da função ligante do cimento, acarretando perda localizada ou global de resistência a esforços. Segundo Souza e Ripper (1998), as principais causas da desagregação de estruturas em concreto armado são:

- fissuração: casos em que o processo de fissuração acontece por longos períodos sem as devidas medidas corretivas originam deslocamento do concreto. Porém, maiores velocidades de desagregação são detectadas em casos onde há a ocorrência de reações expansivas e corrosão de armaduras;
- movimentação de formas na concretagem: a ocorrência desse erro na concretagem cria juntas não previstas nas peças e possibilita a fuga da nata de cimento que, conseqüentemente, segrega e, finalmente, desagrega;

- corrosão do concreto: a definição geral de corrosão é a destruição de um material através de reações químicas ou eletroquímicas, se aplicando a qualquer tipo de material. Dessa maneira, o concreto sofre três diferentes tipos de corrosão química: por lixiviação, reação iônica e por expansão. A corrosão por lixiviação é a mais frequente e se caracteriza pela dissolução e transporte do hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) presente no cimento Portland, diminuindo o pH do concreto e causando a desagregação. A corrosão por reação iônica é particularizada pela interação de substâncias químicas presentes no meio agressivo (magnésio, amônio, cloro e nitrato) com componentes do cimento endurecido, gerando componentes solúveis. A corrosão por expansão no concreto é devida ao ataque de sulfatos aos componentes do cimento, acarretando aumento do volume do concreto que provoca expansão e desagregação do mesmo. Sulfatos estão presentes em águas com resíduos industriais, água subterrâneas e na água do mar, sendo os mais perigosos para o concreto: o amoníaco ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_2$), o cálcico (CaSO_4), o de magnésio (MgSO_4) e o de sódio (Na_2SO_4).
 - calcinação: o concreto apresenta tal efeito uma vez que tenha sofrido a ação do fogo, gerando alteração da cor e perda de resistência. A desagregação do concreto acontece em temperaturas próximas a 600°C , de modo que os agregados dilatam causando tensões internas na estrutura, fissurando as mesmas.
- c) carbonatação do concreto: tal fenômeno acontece com a dissolução do anidrido carbônico (CO_2), presente na atmosfera, no cimento hidratado, com a conseqüente formação do carbonato de cálcio e a diminuição do pH até valores menores que 9. A carbonatação é um processo presente em todas as estruturas de concreto, no entanto a espessura carbonatada é fortemente influenciada pela porosidade do concreto, dessa forma é preciso atentar para a porosidade do mesmo, a quantidade de fissuras e ter o cuidado de obedecer ao cobrimento mínimo recomendado por norma. O problema se mostra com maior gravidade quando a espessura de carbonatação atinge as armaduras, uma vez que esse fenômeno causa a despassivação das armaduras e a corrosão das mesmas, conforme a figura 11. Aberturas de fissuras superiores a 0,4 mm apresentam condições propícias para acelerar tal processo patológico na peça.

Figura 11 - Carbonatação devido à fissuração



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 75)

5 PATOLOGIAS EM CORTINAS ATIRANTADAS

O presente capítulo dissertará sobre as patologias mais frequentes nesse tipo de estrutura. Com esse objetivo, primeiramente, será relatado como é o procedimento de aquisição desses dados. Os métodos descritos são baseados no estudo de relatórios de avaliação disponibilizados por uma empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica com larga experiência no assunto supracitado.

5.1 METODOLOGIA DE ANÁLISE

A avaliação dos danos da estrutura é realizada em campo, atentando para fatores relacionados com o estado da superfície da cortina. Para tanto, utiliza-se a metodologia observacional com o intuito de levantar as patologias e a gravidade das mesmas, levando em consideração que, frequentemente, há diversas patologias atuantes concomitantemente.

Com a intenção de racionalizar o processo de aquisição de dados, é necessário atentar os seguintes elementos:

- a) painéis (P_n);
- b) juntas de dilatação (verticais) ($J_{n/n-1}$);
- c) juntas de construção (horizontais) (N_n);
- d) capacetes de proteção das cabeças dos tirantes.

Com o intuito de reunir toda a informação mencionada, é recomendado o uso de *checklist* de forma que, com o auxílio dessa ferramenta, é possível ser objetivo. Dessa forma, todo o histórico patológico de uma cortina é resumido em poucas páginas, fato que irá ser favorável, uma vez que essa inspeção determinará a gravidade do problema. Exemplos de quadros de verificação são apresentados nos quadros 6, 7 e 8.

Quadro 6 - Exemplo de planilha de inspeção para as patologias nos painéis

PLANILHA DE INSPEÇÃO DE PAINÉIS					
Km:					
Nº Cortina:		Painel:	Fotos:	Data:	
Tipo de tirante:					
Fissuras	Abertura	não	< 0,3 mm	> 0,3 mm	
	Frequência	não	Esp. < 1m	Esp. > 1m	
	Orientação	Transversal	Oblíqua	Longitudinal	Entrecruzada
	Extensão	não	< 20 %	> 20 % e < 50 %	> 50 %
	Natureza	não	Externa	Coação interna	
Desagregação	Área	não	< 5 %	> 5 % e < 10 %	> 10 %
	Posição	não	Tração	Cisalhamento	Compressão
	Grau	não	Agreg. exposto	Agreg. Coberto	
	Profundidade	não	< 0,3 cm	< Cobrimento	> Cobrimento
Carbonatação	Profundidade	não	< Cobrimento	> Cobrimento	
Segregação	Área	não	< 5 %	> 5 % e < 10 %	> 10 %
	Posição	não	Tração	Cisalhamento	Compressão
	Grau	não	Agreg. exposto	Agreg. coberto	
	Profundidade	não	< 0,3 cm	< Cobrimento	> Cobrimento
Corrosão	Tipo	não	Discreta	Expressiva	
	Exposição	não	Isolados	Toda armadura	Dectável
	Estricção	não	Red. < 20 %	Red. > 20 %	Total
	Eflorescência	não	Discreta	Ampla	
Observar	Obstrução de canaleta	não	sim		
	Trincas nas canaletas	não	sim		
	Func. dren. de paramento	não	sim		
	Func. dren. profunda	não	sim		

LAYOUT:

(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

Quadro 7 - Modelo de planilha de inspeção das juntas

CADASTRO DE PALOGIAS DAS JUNTAS HORIZONTAIS				
Km:	Painel:	Foto:		
Linha:				
Fissura	não	sim		
Desagregação	não	até 10 %		> 10 %
Segregação	não	até 10 %		> 10 %
Surgência d'água	não	sim		
Faixa de líquens	não	até 20 %		> 20 %
Obs.:				
CADASTRO DE PATOLOGIAS DAS JUNTAS VERTICAIS				
Km:	Painel:	Foto:		
Entre painéis:				
Fuga de finos:	não	sim		
Deslocamento:	não	até 2 cm		> 2 cm
Vegetação:	não	rala		arbustiva
Surgência d'água	não	sim		
Obs.:				

(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

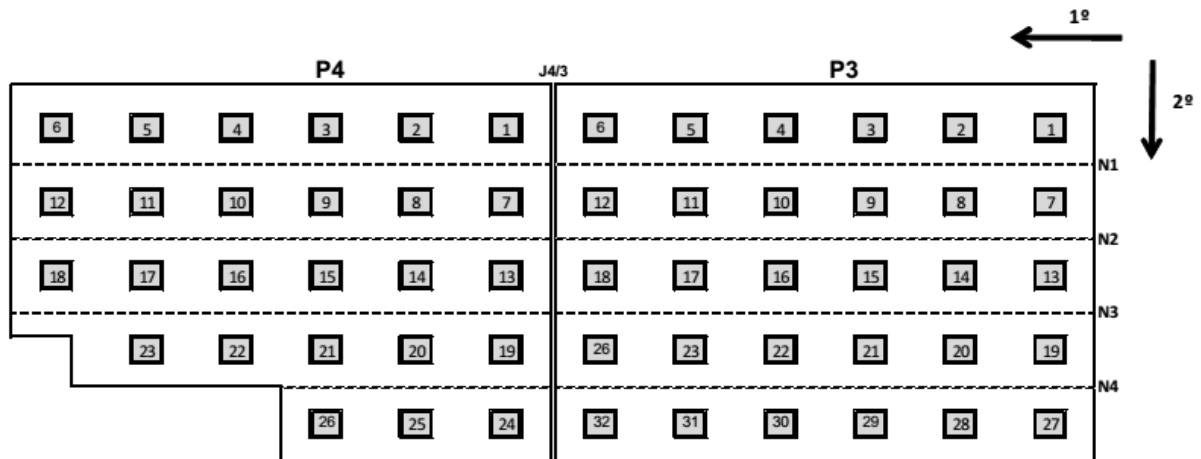
Quadro 8 - Modelo de planilha de inspeção do capacete de proteção do tirante

CADASTRO DE PATOLOGIAS DO CAPACETE DO TIRANTE			
Km:		Painel: Foto:	
Número do tirante:			
Fissura	não	< 0,3 mm	>= 0,3 mm
Lascas	não	< 2 cm	>= 2 cm
Eflorescência	não	sim	
Cabeça Porosa	não	sim	
Liquens em todas as faces	não	sim	
Exposição da placa	não	sim	
Exposição da cabeça	não	sim	
Surgência d'água	não	sim	
Cabeça solta	não	sim	
Tirante rompido	não	sim	
Cabeça projetada			
Cabeça contraída			
Obs.:			

(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

De posse dos dados referentes aos elementos citados é possível estimar a avaliação da cortina. É recomendado que tal processo seja feito de forma organizada, uma vez que há uma grande quantidade de elementos para aferição. Dessa forma, é utilizado um critério sequencial, em que cada cortina é dividida em zonas delimitadas por juntas verticais e juntas horizontais, numerando os tirantes conforme o sentido preferencial do executor. A figura 12 exemplifica tal abordagem.

Figura 12 - Critério sequencial de análise



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

5.2 ESTUDO DE PATOLOGIAS

De posse dos conhecimentos adquiridos, através de pesquisa bibliográfica, no processo de execução da estrutura de concreto, da execução dos tirantes (etapa crítica), dos mecanismos de degradação da estrutura e de entrevistas com engenheiros renomados como Eduardo Azambuja e Jarbas Milititsky, é possível constatar que as principais manifestações patológicas encontradas em cortinas atirantadas, são:

- a) nos painéis,
 - fissuração;
 - desagregação;
 - segregação;
 - corrosão;
 - surgência d'água;
- b) nas juntas horizontais construtivas,
 - fissuras;
 - desagregação;
 - segregação;
 - presença de liquens;
 - surgência d'água;
- c) nas juntas de dilatação,
 - deslocamentos ou giros;

- fuga de finos;
 - vegetação;
 - surgência d'água;
- c) nos capacetes de concreto,
- fissuração;
 - lascas (causadas por danos por impacto, desagregação ou segregação);
 - eflorescência;
 - porosidade;
 - presença excessiva de líquens;
 - base exposta;
 - surgência d'água;
 - tirante solto;
 - tirante rompido com projeção;
 - tirante rompido com contração.

5.2.1 Patologias em tirantes

Segundo o relato do engenheiro Eduardo Azambuja, “as principais patologias existentes nesse tipo de estrutura estão localizadas nos tirantes, sendo elas de alta gravidade, uma vez que a capacidade portante da estrutura pode ser afetada”. Uma vez que não é possível avaliar a peça em sua totalidade visualmente, o processo de verificação do elemento é direcionado na aferição do grau de conservação do capacete de proteção do mesmo. As principais patologias presentes nessas peças são:

- a) fissuração: problema de difícil observação, uma vez que as fissuras, geralmente, são de tamanhos reduzidos e dificultam a sua visualização no início do processo de deterioração. Em cortinas em que o processo de gunitagem (tratamento superficial de concreto projetado) foi realizado, a observação de fissuras e patologias na face da estrutura é prejudicada e quando observada, o processo, geralmente, já está avançado. Tal problema, frequentemente, está associado a outras patologias, podendo ter origem por dilatação térmica, retração do concreto, impactos físicos, movimentação da cabeça do tirante, entre outros;

Figura 13 - Exemplo de fissuras



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

- b) lascas: diferentemente das fissuras, tal problema é de fácil observação, visto que é de fácil visualização a longas distâncias. Essas se originam por segregação (erro de concretagem do capacete) ou desagregação (perda de volume de concreto após a concretagem) e, como consequência, há a redução do cobrimento de concreto, podendo afetar as armaduras precocemente;

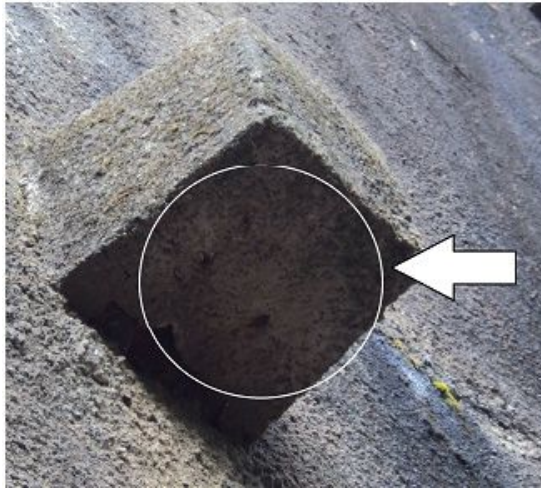
Figura 14 - Exemplo de lascas



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

- c) eflorescências: problema característico de peças que sofrem com o processo excessivo de carbonatação. Dessa maneira, existe a possibilidade de despassivação das peças metálicas protegidas pelo concreto do capacete de proteção;

Figura 15 - Exemplo de eflorescências



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

- d) porosidade: patologia grave, uma vez que o revestimento de concreto serve como proteção das armaduras e peças metálicas. Tal proteção está fortemente relacionada com a vida útil da estrutura. Essa complicação se origina da concretagem inadequada ou de traços de concreto mal projetado (pobre), tendo em vista a proteção passiva almejada;

Figura 16 - Exemplo de porosidade



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

- e) exposição da cabeça do tirante: complicação de pouca recorrência, uma vez que quando ocorre é devida, possivelmente, à ruptura do tirante. Geralmente acontece no processo de desforma ou por algum impacto físico ao longo da

vida útil da estrutura. A gravidade está relacionada à falta de proteção da cabeça do tirante;

Figura 17 - Exemplo de exposição da cabeça do tirante



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

- f) fluxo de água na cabeça do tirante: patologia com alta recorrência em cortinas, ocorrendo, principalmente, em tirantes mais próximos da base da estrutura. A surgência d'água indica deficiência da vedação na junção do tirante com o painel de concreto. Uma vez que há a presença de água nessa região, há a ameaça de corrosão dos elementos metálicos da região;

Figura 18 - Exemplo de fluxo de água na cabeça do tirante



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

- g) existência de líquens em todas as faces: tal patologia expõe a presença de umidade no capacete de proteção, sendo, frequentemente, relacionada à alta porosidade do concreto utilizado na peça. Dessa maneira, a umidade em excesso pode agredir as peças metálicas, afetando a cortina como um todo;

Figura 19 - Exemplo da existência de líquens nas faces



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

- h) exposição da placa: problema bastante frequente, umas vez que, no processo de concretagem dos capacetes, a fôrma é apoiada na base da placa de aço do tirante. Dessa forma, o cobrimento de concreto não é suficiente e a corrosão afeta rapidamente a base da placa que, ao expandir, devido à reação química, destrói a fina nata de cimento, deixando a base da placa exposta. Uma vez que a placa fique exposta, o mecanismo de deterioração afeta o capacete como um todo e, em casos extremos, pode afetar o vergalhão do tirante, pondo em risco tal elemento de sustentação;

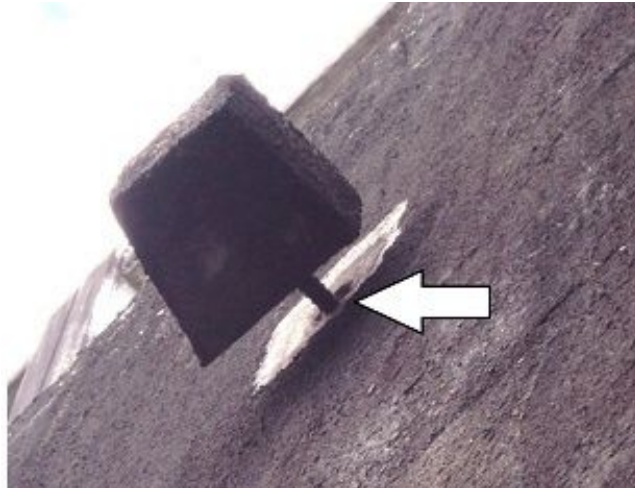
Figura 20 - Exemplo de exposição da placa do tirante



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

- i) ruptura do tirante com projeção do capacete: nesse problema, a funcionalidade do tirante deixa de existir. Tal manifestação está ligada à ruptura interna da peça, frequentemente, por corrosão sob tensão (diminuição de área) da luva ou barra no trecho livre, havendo perda da mesma;

Figura 21 - Exemplo de ruptura do tirante com projeção do capacete de proteção



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

- j) ruptura do tirante com contração da barra: analogamente ao caso anterior, tal manifestação patológica tem como consequência a perda da funcionalidade da peça. Geralmente, ocorre devido à corrosão das peças de aço localizadas na cabeça do mesmo (rosca da barra, placa ou 'porca');

Figura 22 - Exemplo de ruptura do tirante com contração da barra



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

- k) tirante solto: problema de difícil identificação, uma vez que, sem exumar a cabeça do tirante, há poucos indícios dessa anormalidade. Quando detectável, sem a exumação do capacete, tal patologia caracteriza-se por uma pequena fenda entre o cacete de proteção e a parede de concreto armado, se estendendo por todas as faces. Uma vez que foi perdida a protensão, esse elemento não impõe nenhuma força resultante no painel de concreto e, dessa maneira é análogo a peças rompidas. Contudo, em alguns casos, é possível aplicar a protensão novamente.

Figura 23 - Exemplo de tirante solto



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

5.2.2 Patologias em juntas verticais

A importância da aferição de patologias em juntas verticais é justificada visto que as mesmas desempenham funções relevantes para um bom desempenho da estrutura de contenção. Esses componentes proporcionam deslocamentos e deformações provenientes dos efeitos de dilatação térmica. Tal comportamento é necessário uma vez que os painéis são expostos a grandes variações de temperatura ao longo de sua vida útil, essa oscilação na temperatura tende a produzir trincas e fissuras no painel, fato que pode ser controlado com a execução correta de juntas de dilatação verticais.

É importante salientar que as juntas verticais devem apresentar espessura constante e verticalidade, visto que, dessa maneira, ao se movimentar, não são gerados esforços não previstos no dimensionamento. Dada a má execução das juntas, são frequentes fenômenos de

desagregação nas bordas dos painéis de concreto. As principais patologias presentes nas juntas de dilatação verticais são:

- a) deslocamentos: os deslocamentos são facilmente observados nas juntas verticais, podendo ser causados por movimentações dos painéis superiores durante o processo executivo descendente da cortina. Uma vez que esse problema acontece após o término da concretagem, o mesmo aponta uma possível queda da capacidade de suporte da estrutura de contenção, que pode ser devida a tirantes rompidos ou soltos;

Figura 24 - Exemplo de deslocamento



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2015)

- b) surgência d'água: esta patologia evidencia dois problemas, um é o mau funcionamento da drenagem na parte inferior da cortina, o outro é a má execução do sistema de vedação da junta. Grande parte desse tipo de patologia se encontra em alturas inferiores a 2 metros, revelando a possível existência de condições de fluxo na base da cortina. Se essa situação acontecer por longos períodos de tempo, é possível a ocorrência de fuga de finos, agravando o quadro.

Figura 25 - Exemplo de surgência d'água



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

- c) fuga de finos: patologia provocada pela má vedação das juntas, sendo assinalado pelo fluxo intermitente de água na junta. A gravidade consiste no fato de que há perda do material do tardo de cortina, conseqüentemente há um desconfinamento que pode provocar perda de protensão dos tirantes, deslocamentos, subsidência, trincas no aterro e na canaleta de montante, etc;

Figura 26 - Exemplo de fuga de finos



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

- c) vegetação: patologia provocada pela má vedação das juntas, umidade excessiva no tardo e, geralmente, fuga de finos. Sua gravidade está no fato de comprometer o funcionamento das juntas e drenos e causar destruição das bordas dos painéis;

Figura 27 - Exemplo de vegetação nas juntas



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

5.2.3 Patologias em juntas horizontais

Juntas horizontais ou construtivas são criadas no processo descendente de execução da cortina. Segundo a análise de relatórios, as mesmas indicam a qualidade da execução dos painéis, uma vez que grande parte das patologias nesses elementos estão localizadas nessa zona.

A má execução é a maior causa de problemas nessa região, de forma que, com pequenos esforços, é possível a remoção da argamassa que protege as armaduras de transpasse entre painéis. A falta de controle do cobrimento nessa região é um fator crítico, haja vista que é possível observar as armaduras sofrendo processos avançados de corrosão, apresentando, em alguns casos, perdas significativas de área útil. Uma vez que as patologias presentes nessa região são as mesmas supracitadas, será citado apenas o tipo de patologia, sendo o diferencial a localização das mesmas. Dessa maneira, as patologias em juntas horizontais são:

- a) fissuração;
- b) surgência d'água;
- c) segregação;
- d) desagregação;
- e) líquens;
- f) eflorescência.

Figura 28 - Exemplo de diversas patologias em juntas horizontais



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

Figura 29 - Exemplo de deficiência no cobrimento das juntas horizontais



(fonte: empresa atuante no ramo de engenharia geotécnica, 2011)

5.2.4 Patologias nos painéis de concreto

As manifestações patológicas existentes nesses elementos, geralmente, são decorrentes do não tratamento das patologias nos capacetes de concreto, nas juntas construtivas horizontais e nas juntas de dilatação verticais. Dessa maneira, o processo de degradação dos painéis é tardio se comparado com o tempo necessário para a degradação dos outros elementos da cortina. Contudo, é fácil a observação dos problemas visto que são elementos de grande porte. Para a avaliação das condições internas dos painéis podem ser utilizados ensaios de resistência superficial (esclerométrico) e ensaio de carbonatação.

A gravidade dos problemas nessas regiões, geralmente, não é crítica, visto que são complicações que não comprometem a estabilidade da estrutura, apresentando a possibilidade de reparos com maior facilidade se comparados com adversidades localizadas nos tirantes. Uma vez que as placas são elementos de espessura considerável e que é possível um maior controle de concretagem ao se utilizar concretos com alto teor de cimento para a proteção das armaduras, as patologias graves nessas regiões são decorrentes de erros de projeto no que refere ao dimensionamento das armaduras, visto que tais elementos estão sob esforços de empuxos de terra e água no tardo e sofrem grandes esforços aplicados pelos tirantes na face oposta. Desse modo, o dimensionamento das armaduras é o fator que irá ditar o comportamento do painel, visto que o mesmo tende a contrapor grandes deformações. Uma vez que as patologias presentes nessa região são as mesmas citadas anteriormente, será mencionado apenas o tipo de patologia, sendo o diferencial a localização das mesmas. As patologias presentes nessas peças são:

- a) fissuração;
- b) desagregação;
- c) segregação;
- d) corrosão;
- e) surgência d'água.

Abaixo, segue o quadro 9 que abrange o resumo das principais patologias contendo suas causas e conseqüências segundo sua localização na estrutura.

Quadro 9 - Resumo das principais patologias

Local	Patologia	Causa	Consequência
Capacete de proteção do tirante	Fissuração	Dilatação térmica; Retração do concreto; Impactos físicos; Movimentação da cabeça do tirante;	Início do processo de degradação da estrutura; Porta de passagem para gases e umidade; carbonatação acelerada;
	Lascas	Segregação (erro concretagem capacete); Desagregação (Perda de volume de concreto);	Redução do cobrimento; Maiores chances de ataque corrosivos nas armaduras;
	Eflorescência	Carbonatação	Despassivação da armadura; Manchas;
	Porosidade	Cura inadequada; Traço de concreto mal projetado;	Despassivação da armadura; Maiores chances de ataque corrosivos nas armaduras;
	Exposição da cabeça do tirante	Ruptura do tirante; Desforma inadequada; Impacto físico;	Desproteção das peças metálicas de fixação;
	Fluxo de água na cabeça do tirante	Deficiência da vedação na junção do tirante com o painel;	Corrosão acelerada das peças metálicas da cabeça do tirante;
	Líquens	Presença de umidade; Alta porosidade;	Corrosão acelerada das peças metálicas da cortina;
	Exposição da placa	Erro na concretagem do capacete;	Cobrimento insuficiente; Corrosão da base da placa; Corrosão dos elementos presentes no capacete;
	Ruptura com projeção	Ruptura interna; Corrosão sob tensão da luva ou barra no trecho livre;	Perda de funcionalidade;

	Ruptura com contração	Corrosão dos elementos de fixação (rosca, placa, porca);	Perda de funcionalidade;
	Tirante solto	Construção deficiente;	Fenda entre a parede e o capacete por todas as faces; Perda de funcionalidade;
Juntas Verticais	Deslocamentos	Movimentação dos painéis superiores durante execução;	Queda de capacidade suporte;
	Surgência d'água	Mau funcionamento da drenagem na parte inferior da cortina; Má execução do sistema de vedação da junta;	Fuga de finos;
	Fuga de finos	Má execução do sistema de vedação da junta;	Perda de material do tardo; Desconfinamento causa perda de protensão dos tirantes; Deslocamentos; Subsidência; Trincas no aterro; Trincas na canaleta de montante;
	Vegetação	Má execução do sistema de vedação da junta; Umidade excessiva; Fuga de finos;	Mau funcionamento de juntas e drenos; Destruição das bordas dos painéis;
Juntas Horizontais	Fissuração	Dilatação térmica; Retração do concreto; Impactos físicos;	Início do processo de degradação da estrutura; Porta de passagem para gases e umidade; carbonatação acelerada;
	Surgência d'água	Mau funcionamento da drenagem na parte inferior da cortina; Alta porosidade;	Despassivação da armadura; Maiores chances de ataque corrosivos nas armaduras;
	Segregação	Lançamento incorreto; Traços mal dimensionados;	Maiores chances de ataque corrosivos nas armaduras; Perda de resistência;

	Desagregação	Reações expansivas; Presença d'água; Corrosão do concreto;	Carbonatação; Maiores chances de ataque corrosivos nas armaduras; Perda de resistência;
	Líquens	Presença de umidade; Alta porosidade;	Corrosão acelerada das armaduras;
	Eflorescência	Carbonatação;	Despassivação da armadura; Corrosão acelerada das armaduras;
Painéis de Concreto	Fissuração	Dilatação térmica; Retração do concreto; Impactos físicos; Vegetação;	Início do processo de degradação da estrutura; Porta de passagem para gases e umidade; carbonatação acelerada;
	Desagregação	Reações expansivas; Presença d'água; Corrosão do concreto;	Carbonatação; Maiores chances de ataque corrosivos nas armaduras; Perda de resistência;
	Segregação	Lançamento incorreto; Traços mal dimensionados;	Maiores chances de ataque corrosivos nas armaduras; Perda de resistência;
	Corrosão	Carbonatação; Presença de umidade; Porosidade;	Fissuração; Desagregação; Perda de resistência; Exposição de armaduras; Manchas;
	Surgência d'água	Mau funcionamento da drenagem;	Despassivação da armadura; Maiores chances de ataque corrosivos nas armaduras; Manchas;

(fonte: elaborado pelo autor)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Patologias nesse tipo de estrutura são mais frequentes que o esperado. Ao analisar o material fornecido pela empresa, é possível concluir que grande parte dos problemas existentes na estrutura em estudo são decorrentes de erros na etapa de execução, sejam eles provocados por carência de capacidade técnica da equipe responsável pela realização da obra, sejam eles causados pelo pela deficiência ou inexistência de controle de qualidade. Quando existe um correto controle de qualidade não é possível tolerar erros graves na execução, uma vez que essa etapa tem o dever de relacionar tais problemas e corrigi-los ou, no mínimo, mitigá-los.

Referindo-se a erros em projeto, segundo Eduardo Azambuja, os mesmos estão relacionados à má interpretação de mecanismos geotécnicos, visto que, geralmente, estruturas de contenção são construídas quando o solo já rompeu, dessa maneira, utilizando a retroanálise como ferramenta, é possível a adoção de parâmetros de pico que não condizem com a realidade, sendo imprescindível experiência para a adoção de parâmetros corretos, caracterizando o método de forma empírica. Tal erro pode acontecer visto que é possível que a ocorrência de rupturas anteriores tenham existido sem que fossem percebidas pela investigação do subsolo. Nesses casos, devem ser utilizados parâmetros que levam em consideração os efeitos de grandes deformações, cabendo ao projetista avaliar a redução dos mesmos. A falta de detalhamento nas pranchas também pode ser considerado como erro frequente, uma vez que poucas são as empresas em que os detalhes da montagem dos tirantes estão bem elucidados.

Em cortinas em que foi realizado o tratamento superficial da face com concreto projetado (gunitagem) é extremamente difícil a observação de fissuras e do estado dos demais componentes da estrutura, uma vez que esse tratamento superficial sobrepõe à visualização de certos problemas. Tal tratamento não apresenta nenhuma função estrutural e, muitas vezes, é realizado para tapar imperfeições oriundas de deslocamentos na concretagem dos painéis, afetando futuras inspeções na estrutura por fins meramente estéticos.

É possível concluir que a aferição de patologias em cortinas de concreto armado atirantadas é um processo delicado em que o técnico responsável, deve ter um conhecimento multidisciplinar, visto que o entendimento do problema envolve questões que abrangem diferentes conhecimentos de engenharia como: geotecnia, projeto, execução de estruturas de

concreto e manutenção. Dessa forma, a pessoa responsável por tal tarefa deve possuir a habilidade de abstração para que consiga entender as causas que levaram aos processos patológicos e, dessa maneira, trate a estrutura de forma objetiva para que não haja a ocorrência de novas patologias em um curto período de tempo.

Finalmente, a inexistência de um plano de manutenção aliada aos erros que foram cometidos na execução causam a maior parte das patologias graves encontradas em cortinas de concreto armado, exaltando, dessa forma, a importância de um bom controle de qualidade associado a manutenções periódicas, uma vez que os mecanismos de degradação são cumulativos e somente dessa maneira é possível a obtenção de estruturas de qualidade, segurança e durabilidade.

Dessa maneira, o presente trabalho contribui com informações que visam a melhora da qualidade desse tipo de estrutura, objetivando a obtenção de maior durabilidade da mesma, justificando o meu estudo, uma vez que o assunto abordado é carente de informação na literatura nacional.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5629**: execução de tirantes ancorados no terreno. Rio de Janeiro, 2006.
- EMPRESA ATUANTE NO RAMO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA. **Estudos e projetos finais de engenharia de reforço e recuperação de cortinas atirantadas nas rodovias ERS-115, trecho Arroio Muller (Taquara) – Gramado, km 38+000 e na rodovia ERS-235, trecho Gramado – Canela, km 35+300**: ERS-115 km 38+000. Porto Alegre: DAER/RS, 2011. Impressão final do relatório do projeto executivo de reforço da cortina atirantada. v. 1.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO. **Manual técnico de encostas**. Rio de Janeiro, 2014. v. II.
- RANZINI, S. M. T.; NEGRO JUNIOR, A. Obras de contenção: tipos, métodos construtivos, dificuldades executivas. In: HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. (Ed.). **Fundações**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. p. 497-515.
- SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. 2. ed. (1º reimpr.). São Paulo: Oficina de Textos, 2012 (reimpr.2014).
- SOLOTRAT ENGENHARIA GEOTÉCNICA. **Manual Tirantes**. [São Paulo: 2015]. Disponível em: <http://www.solotrat.com.br/ws/manual/pt_ManTirantes.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2015
- SOUZA, V. C. de; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998. p. 22-80.
- TACITANO, M. **Análise de paredes de contenção através de método unidimensional evolutivo**. 2006. 268 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de eng. civil, arquitetura e urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- TECNOSOLO ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE SOLOS E MATERIAIS. **Estabilização de taludes com ancoragem**: vinte anos de atividades. Rio de Janeiro: Tecnosolo, 1978. Tópicos de Geomecânica Tecnosolo n. 29.
- YASSUDA, C. T.; DIAS, P. H. V. Tirantes. In: HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. (Ed.). **Fundações**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. p. 603-640.