



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



LEOPOLDO RODRIGUES DA CUNHA E GONÇALVES

**ANÁLISE DE FALHAS RELACIONADAS AO PROCESSO DE
CONCEPÇÃO E EXECUÇÃO DE MUROS DE ARRIMO E
CONSEQUENTES PATOLOGIAS RELACIONADAS AO PROCESSO**

UBERLÂNDIA- MG

2022

LEOPOLDO RODRIGUES DA CUNHA E GONÇALVES

**ANÁLISE DE FALHAS RELACIONADAS AO PROCESSO DE
CONCEPÇÃO E EXECUÇÃO DE MUROS DE ARRIMO E
CONSEQUENTES PATOLOGIAS RELACIONADAS AO PROCESSO**

Trabalho apresentado a Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Campus Santa Mônica, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Dr. Michael Andrade Maedo

UBERLÂNDIA- MG

2022

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

LEOPOLDO RODRIGUES DA CUNHA E GONÇALVES

**ANÁLISE DE FALHAS RELACIONADAS AO PROCESSO DE
CONCEPÇÃO E EXECUÇÃO DE MUROS DE ARRIMOS E
CONSEQUENTES PATOLOGIAS RELACIONADAS AO PROCESSO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, pela Universidade Federal de Uberlândia.

Uberlândia, agosto de 2022

Banca Examinadora

Prof. Dr. Michael Andrade Maedo
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Jean Rodrigo Garcia
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Paulo Roberto Cabana Guterres
Universidade Federal de Uberlândia

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por fornecerem toda a base para que pudesse atingir essa etapa na minha formação como profissional e pessoa.

A minha irmã, Maria Eduarda, por não poupar esforços para colaborar com a formação do meu indivíduo que tenho me tornado sempre se esforçando ao máximo em prol do meu bem estar.

Ao Prof. Dr. Michael Maedo, por sua personalidade ímpar e sua colaboração ao longo da orientação, com bom astral, entendimento pleno do assunto e atenção excepcional, o que tornou esse momento mais prazeroso e gratificante.

Aos colegas da turma, deixo meu agradecimento por sempre serem tão presentes e tornarem o âmbito acadêmico um local extremamente agradável, sobretudo Bruno, Gabriel e Guilherme.

A todos aqueles que participaram do início da minha carreira profissional, em especial, Darci, Wellington, Cléber, Paulo e Gisele, deixo meus sinceros agradecimentos pelos ensinamentos que não só abrangem temas relacionados a construção civil, mas sim a formação pessoal e moldagem do caráter que almejo para meu futuro.

Aos meus entrevistados deixo meus agradecimentos por estarem partilhando este momento ímpar na minha formação profissional.

"O que fazemos agora ecoa pela eternidade". – Marco Aurélio

RESUMO

A partir da modificação do terreno natural para o estabelecimento de edificações, em maior parte dos casos, faz-se necessário a execução de estruturas de contenções, no intuito de estabilizar esses maciços de solo em condições menos estáveis e resistente às originárias. Contudo, apesar de se ter uma abrangência de estudos relacionados a essa temática, são costumeiros os casos de acidentes ligados a ruptura desse sistema estrutural, também conhecido como muro de arrimo. Nesse contexto, destaca-se que esse tipo de acontecimento tem diversas origens ligadas a falhas humanas na fase de concepção, execução e manutenção do local, e também essas patologias podem ser atreladas a causas naturais. Destarte, torna-se foco dessa monografia o levantamento dos principais agentes e causas ligadas a esses fenômenos e as principais manifestações relacionadas a essas inconformidades. Ademais, as principais soluções (reparos) geralmente empregadas para tratar os problemas gerados por tais patologias também serão apresentadas, explanando sobre o custo envolvido, quando deve ser utilizada e o procedimento de aplicação.

Palavras-chave: Patologias, Muro de arrimo. Reparos. Estruturas de contenção.

ABSTRACT

From the modification of the natural terrain for the establishment of buildings, in most cases, it is necessary to carry out containments, in order to stabilize these soil masses in less stable and resistant conditions to the original ones. However, despite having a range of studies related to this theme, cases of accidents linked to the collapse of this structural system, also known as retaining wall, are common. In this context, it is noteworthy that this type of event has several origins linked to human failures in the design, execution and maintenance phase of the place, and also these pathologies can be linked to natural causes, which will be addressed in the course of the work. Thus, the focus of this monograph is the survey of the main agents and causes linked to these phenomena and the main manifestations related to these nonconformities.

Key-words: Pathologies. Retaining Wall. Containment. Sizing.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 -	Desenho esquemático de muro de arrimo	09
Figura 2 -	Exemplo de muro de gravidade	09
Figura 3 -	Seção transversal de muro de muro de flexão	10
Figura 4 -	Estabilidade de muros de arrimo	11
Figura 5 -	Desenho esquemático de dispositivos de dreno	12
Figura 6 -	Dispositivo de drenagem superficial	13
Figura 7 -	Nichos de concretagem	16
Figura 8 -	Carbonatação no concreto	19
Figura 9 -	Injeção de resina em fissuras	22
Figura 10 -	Selagem de fissura	23
Figura 11 -	Concreto projetado	24
Figura 12 -	Reforço em muro de arrimo com perfil metálico	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>f_{ck}</i>	Feature Compression Know (Resistência Característica do Concreto a Compressão)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 OBJETIVOS.....	8
2.1 OBJETIVO GERAL.....	8
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	8
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
3.1 MUROS DE ARRIMO.....	8
3.2 TIPOS DE MUROS DE ARRIMO.....	10
3.2.1 Muros de gravidade.....	11
3.2.2 Muros de flexão.....	11
3.3 PATOLOGIAS.....	12
4 METODOLOGIA.....	13
5 PATOLOGIAS MAIS COMUNS EM MUROS DE ARRIMO.....	13
5.1 FALHAS HUMANAS DURANTE A CONCEPÇÃO DE PROJETO.....	13
5.1.1 Considerações de cálculo inadequadas.....	13
5.1.2 Erros ou ausência de informações ou detalhamentos.....	14
5.1.3 Ausência de sistema de drenagem.....	14
5.2 FALHAS HUMANAS DURANTE A EXECUÇÃO DO PROJETO.....	15
5.2.1 Falhas no processo de concretagem.....	15
5.2.2 Posicionamento incorreto ou insuficiente de formas e escoramentos.....	17
5.2.3 Utilização de materiais incorretos.....	17
5.2.4 Ausência de controle tecnológico.....	17
5.3 FALHAS HUMANAS APÓS A EXECUÇÃO DO PROJETO.....	18
5.3.1 Ausência de manutenção em drenos.....	18
5.3.2 Sobrecargas excessivas.....	18
5.4 CAUSAS NATURAIS.....	18

5.4.1 Causas Químicas.....	19
5.4.2 Causas Físicas	19
5.4.3 Causas Biológicas.....	20
5.5 AÇÕES EXTERNA	20
5.6 COMPARAÇÃO DA FREQUÊNCIA DAS PATOLOGIAS	20
6 REPARO DE PATOLOGIAS A PARTIR DE DIAGNÓSTICOS NAS ESTRUTURAS ...	20
6.1 INTERVENÇÕES SUPERFICIAIS	21
6.2 TRATAMENTO DE FISSURAS.....	21
6.3 INTERVENÇÕES EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS	23
6.4 REFORÇOS NA ESTRUTURA	24
6.5 DEMOLIÇÃO	25
6.6 ANÁLISE DE CUSTOS	25
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
7.1 CONCLUSÕES	26
7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	26
REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

A partir do estabelecimento do ser humano em moradias fixas, após o período de nomadismo, fez-se necessário a manutenção do espaço natural. Nesse contexto, de forma a garantir a estabilização dos maciços de solo modificados, surgem técnicas relacionadas a contenção desses volumes de massa (Coelho et al., 2021).

Nesse aspecto, surgem novas técnicas relacionadas a contenção desses maciços de terra ao longo do tempo, no intuito de gerar mais segurança aos diversos tipos de construções, além de um uso mais racional dos materiais empregados. Sob essa perspectiva, a engenharia civil, em particular a área da geotecnia, propõe estudos ligados a muros de contenção, que tem como função primordial a estabilização das forças laterais geradas pelo desnível ocasionado por ações antrópicas de movimentação de terra (GERSCOVICH, 2008).

Sob essa perspectiva, esses elementos estruturais podem ser divididos entre muros de contenção por gravidade, em que sua estabilidade depende do seu peso próprio e não possuem tensões de tração ao longo de suas seções. Outrossim, existem também os muros de contenção por flexão, que utiliza do próprio peso do maciço para gerar equilíbrio, devido à base de sua seção do tipo “L” ou “T” invertido (GERSCOVICH, 2008).

Contudo, apesar de existirem estudos avançados nessa área, em alguns casos ao longo da via útil desse tipo de estrutura surgem patologias oriundas de diversos fatores, como falha na concepção e execução do sistema ou também falha na drenagem. Nesse contexto, essas adversidades podem afetar estruturas vizinhas e também ocasionar, em casos mais extremos, acidentes ligados ao rompimento da contenção e consequente deslizamento de solo (Coelho et al., 2021).

Destarte, para o bom desempenho das estruturas de fundação existem algumas normativas, dentre elas a ABNT NBR 8044, ABNT NBR 5629, ABNT NBR 11682, ABNT NBR 6122 E ABNT NBR 12722. Ademais, é responsabilidade do engenheiro acompanhar a execução em todas as suas etapas e garantir o seu bom desempenho ao longo de sua vida útil.

Não obstante, para a execução de um projeto de qualidade, cabe ao projetista entender as condições reais de campo e solo, as possíveis interferências e, sobretudo a investigação geotécnica do subsolo, como a natureza de suas camadas, resistência e presença de água. Por fim, o entendimento das ferramentas disponíveis e que atendem com qualidade o projeto se torna essencial, também considerando a integridade das estruturas subjacentes (Milititsky, 2017).

Portanto, torna-se evidente, que a correta execução de muros de contenção é uma condição essencial na construção civil, apesar de serem comuns notícias envolvendo acidentes causados pela inadequada execução dessas estruturas. Sob essa perspectiva, a determinação de diretrizes que orientam a boa execução desse sistema construtivo e o estudo das patologias mais frequentes ligadas ao tema podem auxiliar a propagar as boas práticas que gerem estruturas mais seguras e eficientes. Destarte, torna-se cerne da questão a importância de se conhecer as variáveis de projeto e a necessidade da elaboração de uma construção que esteja de acordo com as normas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as referências relacionadas a falhas na concepção e execução de muros de arrimo e consequentes patologias em decorrência do processo.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Analisar as patologias mais frequentes em muros de contenção e suas prováveis origens.
- Propor a orientação de boas técnicas relacionadas a essa temática com o intuito de evitar danos ou colapsos nesse sistema estrutural.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

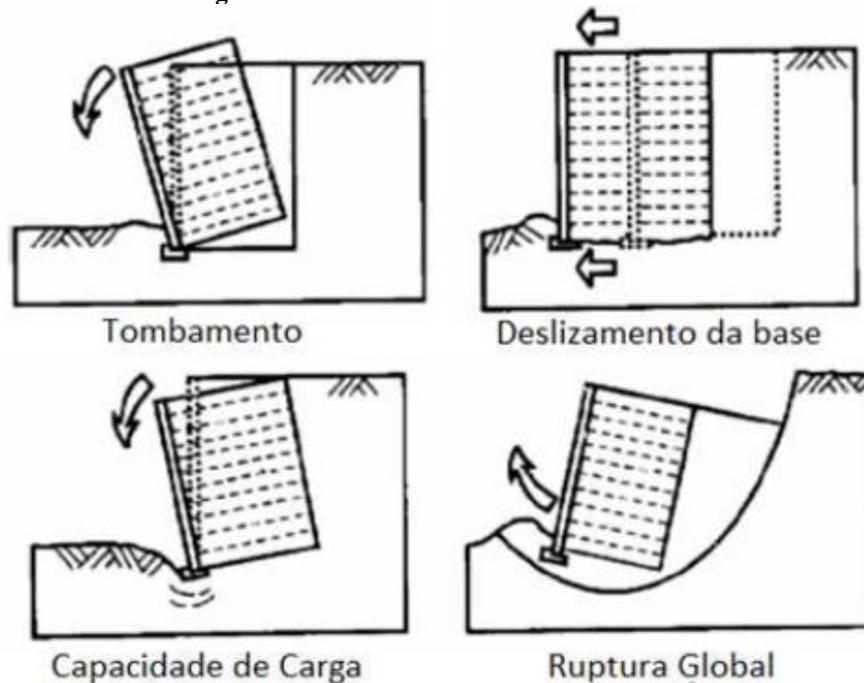
3.1 MUROS DE ARRIMO

Os muros de contenção têm como intuito principal a estabilização de maciços de solo que sofreram modificação antrópica e se encontram em estado de instabilidade. Sob essa perspectiva, esse elemento estrutural deve atender as solicitações provenientes de empuxo, tanto do solo quanto da água, e também as sobrecargas acidentais. (SENES, 2018). A força de empuxo provém da distribuição das pressões laterais originárias do maciço sobre a estrutura que está exercendo a contenção. Nesse contexto, a compreensão dessa variável e a determinação numérica da mesma torna-se fator essencial para o dimensionamento dos muros de arrimo e consequente verificação de estabilidade (SENES, 2018).

O muro de arrimo, conforme indicado em Gerscovich (2008), é definido como estruturas contínuas de contenção, predominantemente verticais em que sua constituição pode ser em concreto, simples ou armado, em alvenaria, de tijolos ou pedras, ou também de materiais especiais, como pneus.

Para o adequado dimensionamento do muro, é imprescindível realizar uma análise para verificar a sua estabilidade. O conceito de estabilidade perpassa por condições que devem ser satisfeitas de acordo com a NBR 11682, dentre elas o tombamento, deslizamento da base e a capacidade de carga da fundação e ruptura global.

Figura 1: Estabilidade de muros de arrimo



Fonte: Gerscovich (2008)

Nesse contexto, os parâmetros de resistência são obtidos a partir da condição de ruptura, valor máximo da curva da tensão-deformação do solo e, em alguns casos, corrigidos por fatores de redução.

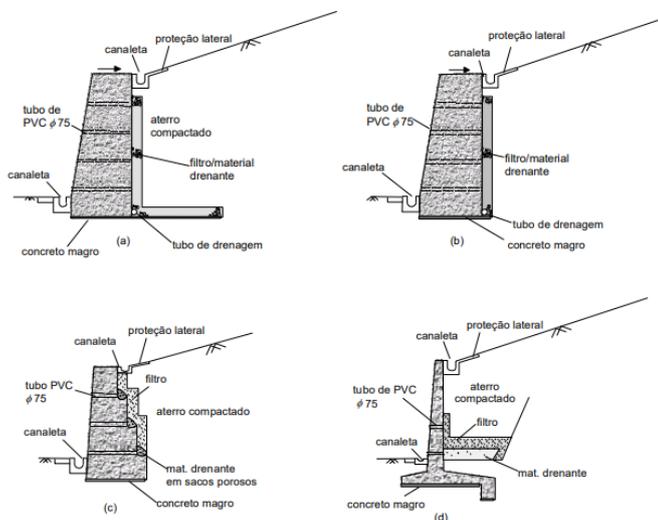
Sob essa égide, de acordo com Gerscovich (2008) ao se tratar de segurança contra o tombamento, obtém-se a estabilidade quando a relação entre o momento resistentes e o momento solicitantes é superior a 2,0. Outrossim, no caso da segurança contra o deslizamento a relação entre os esforços resistentes e o somatório dos esforços solicitante é superior a 1,5

A segurança contra a ruptura global também perpassa com uma relação entre somatório de momentos resistentes sobre momentos instabilizantes, porém considerando uma

ruptura total do maciço. Destarte, de acordo com a NBR 11682 para obras provisórias, considera-se o fator de 1,2 e para obras permanentes o fator de 1,5.

Além disso, é necessário considerar um adequado sistema de drenagem, o qual é responsável por fazer a captação das águas superficiais, como de chuva, irrigação, lavagem e conduzir de maneira a se reduzir a infiltração no solo. Ademais, o sistema de drenagem subsuperficial tem como intuito drenar água no interior do maciço, fator que reduz a pressão neutra do sistema. Não obstante, a drenagem ineficiente ou inexistente pode caracterizar futuras patologias ao sistema de muro de arrimo (MASSAD, 2010).

Figura 2: Desenho esquemático dispositivos de dreno



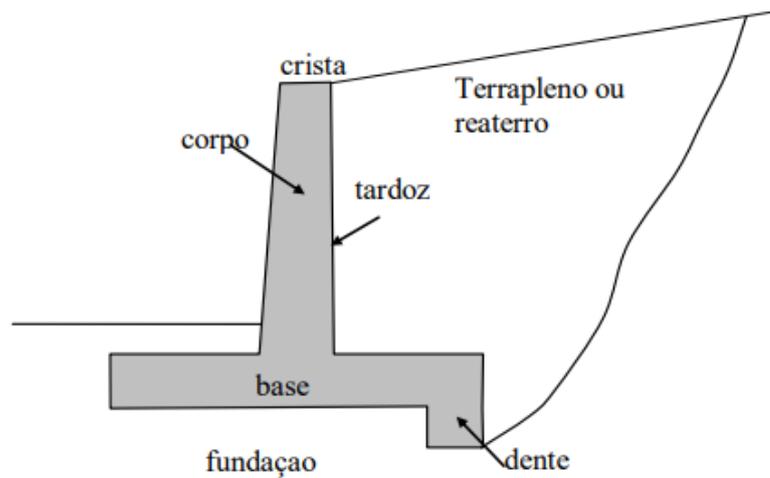
Fonte: Gerscovich (2008)

3.2 TIPOS DE MUROS DE ARRIMO

De acordo com a NBR 11682 (ABNT, 2009, p.10) subdivide os muros de contenção em dois grupos, sendo o primeiro muro de gravidade, e o segundo em muro de flexão.

Sob essa perspectiva, conforme explicitado na literatura de Andrade (2019), a escolha da melhor alternativa é dada baseado na análise de fatores físicos, geotécnicos e econômico, em que deve se analisar, de maneira resumida, a altura da contenção, espaço disponível, tipo de solo e presença de lençol freático.

Figura 3: Desenho esquemático de muro de arrimo

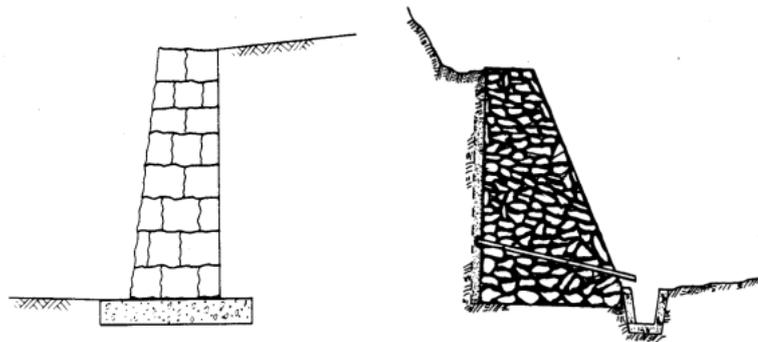


Fonte: Gerscovich (2009)

3.2.1 Muros de gravidade

A definição dada pela NBR 11682 (ABNT, 2009, p.10) para esse tipo de muro é dada como uma estrutura em que sua estabilidade é dada por meio do peso próprio da sua estrutura, sendo essa das mais variadas formas, como concreto, gabião, alvenaria de pedra ou tijolo. Além disso, Gerscovich (2008) estabelece que esse tipo de muro são aqueles construídos em seção plena.

Figura 4: Exemplo de muro de gravidade



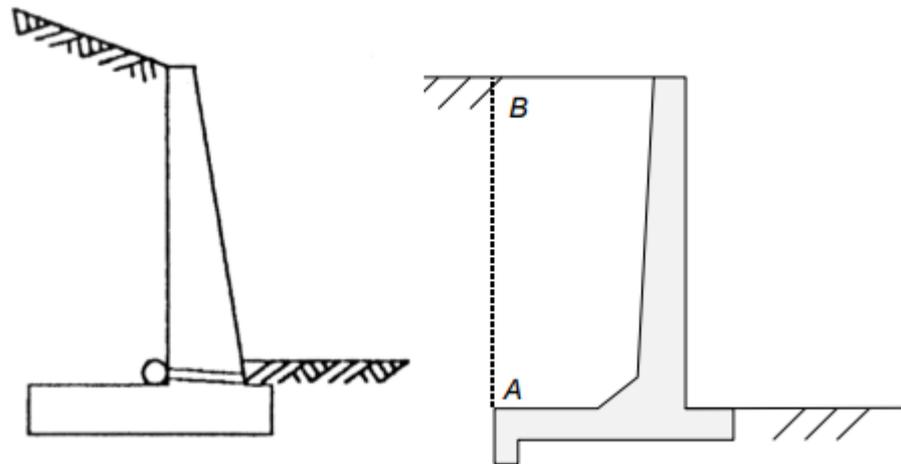
Fonte: Gerscovich (2008)

3.2.2 Muros de flexão

Ao contrário do muro de gravidade em que sua estabilidade depende do peso próprio da estrutura, esse tipo de contenção utiliza-se do peso próprio do maciço apoiado em sua base para resistir aos esforços por flexão, conforme explicitado pela NBR 11682 (ABNT, 2009, p.10).

Outrossim, destaca-se que os muros de flexão são mais esbeltos em comparação aos muros de gravidade, tendo sua forma do tipo “L” ou “T” invertido. Ademais, vale salientar que esses podem ou não ter tirantes ancorados e em termos econômicos, não se torna viável para contenções superiores a 5 metros (GERSCOVICH, 2008).

Figura 5: Seção transversal de muro de flexão



Fonte: Gerscovich (2008)

3.3 PATOLOGIAS

O estudo de patologias na área da construção civil se dá para a área designada a estudar o surgimento, as formas que se apresentam e as consequências geradas por toda e qualquer falha e degradação do sistema das estruturas (SOUZA e RIPPER, 1998).

Nessa perspectiva, inúmeros trabalhos foram realizados com enfoque de enumerar causas e consequências de patologias na área da construção civil. Assim, destaca-se que Souza e Ripper em 1998 foram precursores na elaboração da literatura descritiva de inconformidades em estruturas de concreto e como diagnosticá-las.

A partir disso, tornou-se possível a elaboração de trabalhos acadêmicos que verificaram patologias em muros de arrimo, por meio de estudos de caso, e possíveis soluções. Por conseguinte, De Oliveira (2018) elucidou falhas em muros de arrimo ligadas a etapa de concepção de projeto e Senes (2018) verificou a estabilidade de muro de arrimo com patologias, o que trouxe maior referência desse tipo de estudos ao meio acadêmico.

Portanto, nesse presente trabalho serão descritas patologias geradas por falhas em muro de contenção e serão descritas também soluções para o devido problema.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido em três etapas. Inicialmente, foi realizada uma exaustiva revisão teórica das patologias mais comuns em muros de arrimos já descritas na literatura, a partir da consulta de livros relacionados a área, artigos científicos publicados e também materiais didáticos apresentados por especialistas da área. Posteriormente, o trabalho abordou as principais soluções disponíveis no mercado geralmente utilizadas para remediar as patologias. Finalmente, realizou-se uma análise de custos comparativa entre as soluções existentes para o tratamento dessas patologias existentes em estruturas de concreto armado.

5 PATOLOGIAS MAIS COMUNS EM MUROS DE ARRIMO

5.1 FALHAS HUMANAS DURANTE A CONCEPÇÃO DE PROJETO

A fase de desenvolvimento do projeto é determinante para o bom desempenho da estrutura, uma vez que o estudo detalhado do terreno e das condições de solo presentes podem ser determinantes para o não surgimento de patologias.

Sob essa perspectiva, é dever do engenheiro que projeta a estrutura coletar o maior número de informações com relação ao terreno, a partir dos ensaios previamente estabelecidos, como a sondagem do solo. Ademais, deve-se conhecer as remediações do terreno em que será implantado o projeto e possíveis fatores locais que podem comprometer o desempenho da estrutura. Assim, a não observância dessas questões pode implicar em futuras patologias.

5.1.1 Considerações de cálculo inadequadas

A priori, em termos de dimensionamento um dos principais erros cometidos é a modelização da estrutura e avaliação inadequada das cargas. Nesse aspecto, a não consideração de cargas acidentais, seja de origem climática, como a neve, ou acidentais, como cargas sísmicas, podem gerar problemas de desempenho na estrutura.

Outrossim, nas verificações de condição de estabilidade do muro, ou seja, tombamento, deslizamento da base e ruptura global, compara-se o momento resistente ao momento atuante. Contudo, em casos em que irá existir um corte no terreno natural, é comum considerar em cálculo apenas o desnível entre a condição existente e a determinada pelo projeto, desprezando-se assim outras condições, como a altura de aterro executada pelo vizinho, o que influencia diretamente nos momentos atuantes na estrutura.

Outro ponto de importante destaque é a interpretação inadequada da sondagem do terreno, quando existente, e conseqüentemente a escolha inadequada do tipo de fundação para o sistema de contenção, em que sua capacidade resistente seja menor a solicitada ou que a deformabilidade do solo seja incompatível com a rigidez da estrutura (de SOUZA e RIPPER, 1998).

5.1.2 Erros ou ausência de informações ou detalhamentos

No que tange erros de detalhamento em um projeto de muro de arrimo a maior parte desses se resume na parte de detalhamento de armaduras, em que esses erros podem desencadear patologias mais severas ao sistema. Nesse contexto, a imagem abaixo explicita situações comuns de erros da inserção de armaduras.

Ademais, ao se tratar de estruturas de concreto, a ausência de informações, como a resistência característica do concreto a compressão (f_{ck}) e também o módulo de elasticidade. Sob essa perspectiva, o maior número de informações empregadas em projeto torna menor a chance de erros executivos.

Assim, recomenda-se ao projetista a adequada especificação do tipo de aço, agregado, cimento a ser utilizado, de acordo com as Normas Técnicas. Além disso, quanto ao material concreto, torna-se essencial a especificação quanto ao slump, fator água/cimento, exsudação máxima e teor de ar incorporado.

5.1.3 Ausência de sistema de drenagem

No corpo do projeto é condição essencial a disposição de elementos de drenagem, tanto superficiais quanto internos. Tal fato se deve a sobrecarga gerada em condições que o solo se encontra sob infiltração de água, além que a presença desse elemento pode trazer elementos agressivos a estrutura e causar danos, como a corrosão das armaduras.

Nesse contexto, para evitar esse tipo de sobrecarga e futuras patologias aos muros de arrimo, no projeto deve-se dispor de elementos drenantes superficiais que são responsáveis por captar e direcionar as águas da superfície do talude, como canaletas transversais ou longitudinais, conforme explicitado pela imagem abaixo.

Figura 6: Dispositivos de drenagem superficial



(a) Canaleta transversal

(b) Canaleta longitudinal

(c) caixa de passagem

Fonte: GeoRio apud Gerscovich (2020)

Ademais, conforme explicitado por Gerscovich (2008), os elementos de drenagem internos têm como função controlar a magnitude de pressão de água e captar fluxos no interior de taludes, o que gera a redução no nível piezométrico. Nesse sentido, são exemplos de drenos internos os filtros granulares.

5.2 FALHAS HUMANAS DURANTE A EXECUÇÃO DO PROJETO

As falhas construtivas ligadas a fase de execução da estrutura de contenção são recorrentes e se devem sobretudo a uma baixa qualificação profissional da equipe. Sob essa perspectiva, são apresentados pontos comuns de erros na etapa de construção de muros de arrimo.

5.2.1 Falhas no processo de concretagem

Nessa etapa deve-se ter atenção desde a solicitação do concreto, em que esse deve estar de acordo com as notas técnicas descritas no projeto. A não conformidade dessa premissa, pode desencadear graves falhas no elemento estrutural, sobretudo relacionada a sua resistência característica.

Outrossim, na etapa de transporte do concreto, deve-se ter o cuidado de respeitar o tempo máximo de lançamento do concreto especificado desde sua dosagem, evitando-se assim

que esse não seque nem perca a fluidez. Ademais, a estruturação de cronogramas de concretagem é essencial, uma vez que um intervalo de tempo grande de tempo entre lançamentos pode gerar juntas e superfícies indesejadas e sem aderência (ANDRADE, 2019).

Por outro lado, na etapa de lançamento e adensamento do concreto é necessário a orientação dos profissionais que executam tal atividade, uma vez que a falta de vibração do concreto pode gerar falhas de concretagem e alto índice de vazios, que pode facilitar a entrada de agentes agressivos a superfície. Contudo, o excesso de vibração pode causar a segregação da mistura que também é uma situação indesejável.

Outro ponto que pode gerar segregação entre os materiais presentes no concreto é o lançamento distante ao ponto desejado, esse fator pode trazer uma heterogeneidade a mistura e conseqüentemente uma diminuição na sua resistência almejada. Além disso, o lançamento deve ser uniforme e sua velocidade controlada, uma vez que se essa for elevada, pode gerar movimentações bruscas e indesejadas na armadura.

Figura 7: Nichos de concretagem



Fonte: ECivil (2022)

Por fim, outro ponto de importante atenção no processo de concretagem é a cura do elemento concretado, em que sua maneira mais comum é com água. Tal fato se faz necessário devido as reações exotérmicas presentes na hidratação do cimento e a água tem papel essencial

no controle de umidade e da liberação de calor. Assim, a não execução desse processo pode gerar fissuras, perda de resistência e maior permeabilidade do concreto (COELHO, 2021).

5.2.2 Posicionamento incorreto ou insuficiente de formas e escoramentos

Aspectos relacionados à disposição dos escoramentos na execução de muros de arrimo são de extrema importância e a não conformidade desses podem ocasionar patologias.

O primeiro ponto a se destacar é que a falha no posicionamento desses elementos pode gerar “embarrigamento” da forma ao se lançar o concreto e conseqüentemente para regularizar essas curvas geradas, faz-se necessário a demasiada aplicação de argamassa, que pode gerar sobrecarga na estrutura e conseqüentes patologias.

Outro ponto de enfoque são as formas que se não estiverem estanques podem gerar fendas em que a nata do cimento vaze e, conseqüentemente, cause alterações na composição do concreto, como na sua porosidade, que quando elevada pode facilitar a entrada de agentes agressivos ao interior da estrutura, como a água.

Não obstante, deve-se garantir que os escoramentos sejam retirados a partir da obtenção da resistência prevista em projeto para tal. Assim, caso essa retirada seja feita de maneira precoce, a estrutura pode se comportar de maneira indesejável com deformações excessivas e demasiadas fissurações.

5.2.3 Utilização de materiais incorretos

A não utilização do concreto especificado em projeto é comumente observada em obras com baixo controle de qualidade, e conseqüentemente há discordância em fatores como a relação água/cimento, resistência característica a compressão. Nesse contexto, por exemplo, a alteração no fator de água cimento pode aumentar a porosidade do concreto, alterar a resistência e aumentar a retração do mesmo, o que favorece o aparecimento de trincas.

Outrossim, a utilização de agregados reativos pode gerar inúmeras conseqüências negativas, como apresentado por Neville (2015) que destacou que a presença de cloretos em excesso pode gerar a corrosão do aço e conseqüentes fissurações a estrutura.

5.2.4 Ausência de controle tecnológico

No que tange a parte de controle tecnológico de materiais concretos, os principais testes executados são relacionados a sua resistência característica, módulo de elasticidade e *slump*. Portanto,

caso não se atinjam os valores estipulados pelo projeto nesses testes, cabe a equipe executiva e aos projetistas propor soluções mitigadoras a essas questões, em que comumente são propostos reforços na estrutura com finalidade de não comprometer o seu desempenho.

Sob essa perspectiva, caso não haja o controle pleno do concreto torna-se mais provável a falhas graves nos muros de arrimo, o que pode gerar inclusive o colapso total da estrutura.

5.3 FALHAS HUMANAS APÓS A EXECUÇÃO DO PROJETO

As ações presentes nesse tópico envolvem, em sua maioria, os utilizadores do local que se encontra o muro de arrimo, não somente aqueles ligados a construção do mesmo. Abaixo serão explicitados alguns pontos que podem desencadear patologias a partir do mau uso do sistema.

5.3.1 Ausência de manutenção em drenos

Naturalmente é comum o acúmulo de sedimentos nas regiões dos drenos, então torna-se necessário, periodicamente, realizar a limpeza dessa matéria acumulada. Assim, será possível impedir o surgimento de pressões adicionais temporárias de magnitude significativa.

5.3.2 Sobrecargas excessivas

Apesar do dimensionamento das estruturas de concreto apresentarem coeficientes de segurança em seu dimensionamento, a não consideração de sobrecargas são um dos principais causadores de patologias. Nesse contexto, esses acréscimos de carga se dão sobretudo a alteração do nível de implantação do edifício e conseqüente mudança no empuxo de terra sobre o muro de arrimo.

5.4 CAUSAS NATURAIS

Outro aspecto a ser discutido são as manifestações patológicas que não estão ligadas diretamente a ação antrópica, mas sim relacionadas a interação entre o material concreto e os agentes químicos, biológicos, além dos fenômenos naturais. Dessa forma, são apresentados os principais agentes causadores dessas patologias.

5.4.1 Causas Químicas

A priori, destaca-se a ação dos sulfatos em estruturas de concreto, como o sulfato de sódio e de amônio. Nesse contexto, esses elementos atingem esse tipo de estrutura a partir das águas do mar ou águas subterrâneas. Sob essa perspectiva, se torna extremamente nocivo a esses locais, uma vez que em contato com concreto é formado sal de Candlot que causa a desagregação do concreto (SOUZA e RIPPER, 1998).

Outro ponto importante a se destacar é a chuva ácida formada pela reação entre os gases liberados por veículos automotores e indústrias, sobretudo o dióxido de enxofre e trióxido de enxofre, e a água em forma de precipitação.

Nesse contexto, a chuva ácida ataca as estruturas de concreto e reage com os silicatos presentes no cimento e promove cristais que por serem expansivos, provocam desagregação do concreto. Por outro lado, a chuva ácida aumenta a condutividade do aço na armadura, o que acelera o processo de corrosão.

Por fim, outro fenômeno causador de patologias é a carbonatação do concreto que se dá devido a ação dissolvente do anidrido carbônico (CO_2) presente na atmosfera sobre o cimento, o que forma carbonato de cálcio. Destarte, esse agente ao atingir a armadura, por meio da porosidade do concreto, causa a corrosão da mesma.

Figura 8: Carbonatação no concreto



Fonte: ECivil (2022)

5.4.2 Causas Físicas

Nesse viés, as principais causas físicas motivadoras de patologias são as variações térmicas. Primordialmente, a maior incidência de fissuras se dá a partir do movimento gerado na superfície que possui materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica.

Ademais, a insolação pode gerar alterações na textura e cor do concreto a partir da atuação na camada epidérmica do concreto.

5.4.3 Causas Biológicas

Conforme apresentado por (Carlos et al., 2010) locais em que o lençol freático se encontra próximo ao nível de fundação há a possibilidade de migração das raízes aos pequenos espaços vazios presente no concreto e se entrelaçar. Assim, o crescimento dessas espécies pode gerar a desagregação do material concreto e conseqüente patologia ao sistema.

5.5 AÇÕES EXTERNA

Nesse tópico se destaca pontos relacionados a acidentes, como os sismos, que por serem tão pouco frequentes no Brasil, não são alvo de estudo acadêmico. Por outro lado, as estruturas de concreto ao serem submetidas a colisões, sobretudo a veículos, como carros ou tratores podem causar patologias aos sistemas, de maneira leve com apenas pequenas fissuras, ou de maneira mais intensa, a partir da ruína das peças estruturais.

5.6 COMPARAÇÃO DA FREQUÊNCIA DAS PATOLOGIAS

A partir da pesquisa desenvolvida por Baiburin (2017), é possível saber a maior recorrência de patologias em estruturas de concreto. No estudo realizado, é possível identificar que as maiores frequências de patologias são originárias da não execução do projeto, total ou parcial, em obra. Ademais, destaca-se também que no Brasil ainda há casos que não há projeto para muros de arrimo, sobretudo em edificações de baixo padrão.

6 REPARO DE PATOLOGIAS A PARTIR DE DIAGNÓSTICOS NAS ESTRUTURAS

As intervenções realizadas nas estruturas de contenção devem passar por um processo criterioso de inspeção para que seja realizado o diagnóstico correto das patologias em questão. Nesse contexto, os processos até a resolução da problemática variam de acordo com o engenheiro, porém seguem lógicas de raciocínio semelhantes.

A priori, as inspeções preliminares envolvem o exame visual, a busca por antecedentes que possam ter gerado a problemática. A partir disso, o engenheiro com o pré diagnóstico torna-se apto a julgar a urgência na intervenção e também prosseguir com os testes necessários

Sob essa perspectiva, destaca-se alguns testes realizados em superfícies de concreto, tais como a esclerometria que avalia a resistência a compressão do concreto e o ultrassom que detecta fissura e a profundidade das mesmas. Além disso, existem testes também capazes de determinar a resistividade elétrica do concreto e o conseqüente nível de corrosão das armaduras.

6.1 INTERVENÇÕES SUPERFICIAIS

As intervenções superficiais abrangem as soluções que visam mitigar as patologias relacionadas a desagregação, segregação, porosidade que não afetaram a armadura do concreto.

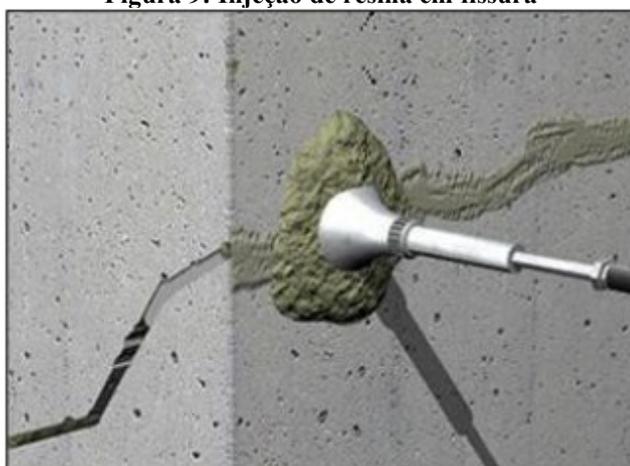
Em casos menos severos, para a remoção de impurezas minerais ou orgânicas que podem causar patologias futuras, utiliza-se jatos de vapor. Contudo, esse tipo de limpeza não abrange casos em que se faz necessário remoção de corrosão da armadura, por exemplo.

6.2 TRATAMENTO DE FISSURAS

Conforme apresentado por Souza e Ripper (1998) há uma gama de mecanismos de tratamento de fissuras, em que o método a ser adotado varia conforme a espessura e a atividade ou inatividade da mesma. Além disso, deve-se analisar a necessidade de reforços estruturais devido a essas fissuras.

A primeira técnica a ser discutida é a injeção de fissuras para aquelas com abertura superior a 0,10 mm, em que se preenche o espaço gerado pela fenda com materiais rígidos, como epóxi, as fendas passivas, isto é, que não variam a espessura mais. Por outro lado, para fendas ativas, recomenda-se injetar resinas acrílicas ou poliuretânicas (SOUZA e RIPPER, 1998).

Figura 9: Injeção de resina em fissura



Fonte: Andrade apud Basf (20--)

Nesse contexto, destaca-se que a escolha da resina epoxídica, para casos de fissuras inativas, depende diretamente da sua viscosidade, módulo de elasticidade e o coeficiente de polimerização do produto, conforme apresentado por Mulligan (1978):

- Fissuras com $\omega < 0,2$ mm, resinas epóxi líquidas com viscosidade próxima de 100 centipoise a 20°C;
- Fissuras com $0,2 \text{ mm} < \omega < 0,6$ mm, resinas epóxi líquidas com viscosidade máxima de 500 centipoise a 20°C;
- Fissuras com $0,6 \text{ mm} < \omega < 3,0$ mm, resinas epóxi líquidas com viscosidade próxima de 1500 centipoise a 20°C;
- Fissuras com $\omega > 3,0$ mm, resinas epóxi puras ou com carga.

Outrossim, destaca-se que a injeção de fissuras deve obedecer a alguns preceitos conforme apresentado por Souza e Ripper (1998), como a abertura dos furos ao longo das fendas na ordem de 10 mm em um intervalo entre 50 mm e 300 mm. Ademais, recomenda-se também a limpeza constante anterior a aplicação e aspiração.

Por fim, recomenda-se para as fissuras ativas a selagem da mesma, que consiste na técnica de vedação dos bordos da fissura com material aderente, que possua resistência mecânica e que consiga adaptar-se a deformação das fendas. Nesse aspecto, é costumeiro o uso de mastique como selante e um cordão de poliestireno ao fundo, de modo que o selante não seja aderido ao fundo da fissura.

Figura 10: Selagem de Fissura



Fonte: Andrade apud Basf (2020)

6.3 INTERVENÇÕES EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A priori, cita-se o reparo com argamassa, que de acordo com Souza e Ripper (1998), é recomendado para reparos superficiais, para pequenas profundidades em que o concreto deteriorado seja aquele que dá cobertura as armaduras, desde que o interior da estrutura não apresente inconformidades. Dentro as principais patologias, utiliza-se essa técnica sobretudo para preenchimento de falhas de concretagem.

Atualmente, há uma gama de tipos de argamassa, como a epoxídica, com polímero, projetada, e a convencional com cimento e areia. Nesse contexto, cabe aos responsáveis da recuperação do muro de arrimo a escolha da melhor argamassa a ser utilizada de acordo com o tipo de serviço a ser desempenhado.

Contudo, é mais comum o uso para as recuperações de muro de contenção o uso de argamassa convencional de cimento e areia é recomendado para reparos mais superficiais originários de deterioração ou desgaste dos elementos estruturais. Ademais, utiliza-se o graute, que é um tipo de argamassa industrializada para reparos mais profundos por apresentar elevada fluidez, além de atingir alta resistência e baixa permeabilidade.

Por outro lado, as estruturas que apresentarem patologias relacionadas a concreto deteriorado podem ser reparadas com concreto convencional ou com aditivos. Nesse aspecto, recomenda-se sua utilização para situações que se tenha falhas de concretagem que se estendam ao longo de sua seção ou além da armadura.

Assim, para sua aplicação deve-se tomar cuidados relacionados a trabalhabilidade do concreto, além de resistência característica igual ou superior ao requerido em projeto. Além disso, outro ponto de importante cuidado é o diâmetro do agregado a ser utilizado para preencher os nichos de concretagem.

Por fim, destaca-se que em muros de contenção outra alternativa muito utilizada é o concreto projetado, em que apresenta índices satisfatórios de aderência devido a sua velocidade de projeção superior a 120 m/s e conseqüente adesão a superfície. Contudo, essa técnica requer mão de obra especializada e também a limpeza de toda superfície anterior a aplicação, de modo a não se comprometer a aderência.

Figura 11: Concreto Projetado

Fonte: Asope (2020)

6.4 REFORÇOS NA ESTRUTURA

A necessidade de reforço das estruturas de muro de arrimo se dá por diversas razões, tais como a necessidade de aumento de capacidade estrutural do muro, por correção de projeto ou execução e também por modificações de uso na estrutura ao longo de sua vida útil. Ademais, faz-se necessário reforçar a estrutura em casos de acidentes, como colisão de veículos, ou também deterioração da mesma.

O mais comum caso de reforço se dá pela recuperação de armaduras que perderam seção devido a fatores como a corrosão, originários, por exemplo, da falta de cobrimento propiciado na preparação a concretagem. Nesse sentido, para esse tipo de trabalho, além de um estudo muito criterioso para dimensionamento, deve-se tomar cautelas na etapa de execução para garantir a aderência e ancoragem das novas barras.

Outrossim, a adição de chapas e perfis metálicos se faz uma alternativa, em que se tem a implantação desse reforço por meio da colagem ou por chumbamento. Nesse aspecto, deve-se tomar precauções quanto a introdução dessa solução, em que a superfície deve ser preparada com cautela para facilitar a aderência, em casos de colagem.

Assim, conforme explicitado por Souza e Ripper (1998), em casos de colagem, sugere-se o apicoamento da superfície de concreto e posterior limpeza com jato de areia para a posterior aplicação da resina epoxídica que irá garantir a colagem entre as duas superfícies.

Figura 12: Reforço em muro de arrimo com perfil metálico



Fonte: DicideObra (2020)

6.5 DEMOLIÇÃO

Por fim, a última técnica consiste na demolição completa ou parcial do muro de arrimo, de modo que sua recuperação não é tecnicamente ou financeiramente viável. Nesses casos, utiliza-se de ferramentas para demolição martelletes, bolas de aço ou até agentes demolidores expansivos, com cuidados de modo a não comprometer as edificações vizinhas.

Nesse contexto, cabe ao engenheiro a avaliação de qual técnica a se utilizar e a necessidade real de demolição. Além disso, deve-se atentar a esquematização de implantação do novo muro de arrimo no local e os devidos cuidados a serem aplicados ao longo do processo.

6.6 ANÁLISE DE CUSTOS

Conforme explicitado por Souza e Ripper (1998), os tratamentos mais onerosos de patologias são relacionados a reforços na estrutura e quando se faz necessário a demolição para construção de uma nova contenção. No entanto, soluções ligadas a selagem de fissuras, injeção de resina e aplicação de argamassa tendem a ser economicamente mais viáveis, ao depender da área afetada.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 CONCLUSÕES

Conforme apresentado ao curso do trabalho, são diversas as formas de manifestações patológicas que podem existir em muros de contenção, desde a etapa de projeto até a fase que sucede a finalização da obra. Nesse contexto, cabe a equipe de engenharia e que executa a obra o controle rígido de qualidade de materiais e mão de obra para a entrega do melhor resultado.

Destaca-se também que parte dessas patologias existentes em muros de contenção são advindas de uma tentativa de redução de custos globais da obra. Assim, torna-se imprescindível o enfoque em todas as etapas da construção, além da conscientização sobre as boas técnicas existentes no mercado da construção civil atualmente.

Por fim, em casos de contenções já construídas que apresentem manifestações patológicas é possível encontrar alternativas e técnicas apresentadas frente as principais características da anomalia.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base no levantamento das principais causas que levam ao surgimento de patologias e de soluções para recuperação de estruturas de muros arrimo, sugere-se as seguintes temáticas para trabalhos futuros:

- Explorar técnicas que aliem o controle de qualidade a gastos racionalizados no contexto de obras com orçamentos reduzidos. Nesse aspecto, faz-se necessário a implantação de metodologias que sejam eficientes e ao mesmo tempo com custos reduzidos, sendo assim um instrumento de análise para processos de melhoria.
- Realizar o levantamento de informações e dados objetivando analisar as causas mais comuns e a frequência das patologias em muros de arrimo e estruturas de contenção.
- Quantificação dos custos envolvidos para reparação de uma obra de contenção real em Uberlândia, considerando as alternativas disponíveis no mercado para a reparação.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Amado Batista Tavares de et al. **Patologias em muros de concreto armado**. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118/03**: Ações e segurança nas estruturas: Procedimentos. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8044**: Projeto Geotécnico. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Projeto de estruturas de concreto: Procedimentos. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682**: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12722** - Discriminação dos serviços técnicos para construção de edifícios. Rio de Janeiro, 1992.
- BATISTA, Thaynara Bueno. **PROJETO GEOTÉCNICO DE UMA ESTRUTURA DE CONTENÇÃO EM CONCRETO**.
- COELHO, Daniela Paraguassú et al. **Estudo de Patologias em Estruturas de Contenção Study of Pathologies in Containment Structures**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 11, p. 109418-109441, 2021.
- DA SILVA LOBO, Ademar; FERREIRA, Cláudio Vidrih; RENOFIO, Adilson. **Muros de arrimo em solos colapsíveis provenientes do arenito Bauru: problemas executivos e influência em edificações vizinhas em áreas urbanas**. Acta Scientiarum. Technology, v. 25, n. 2, p. 169-177, 2003.
- DE OLIVEIRA, Alexandre Magno et al. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque de diferencial de fundações**. 2012.
- DE OLIVEIRA, Charles Ferreira. **Análise de deslizamento de muro de arrimo provocado por falha no projeto**. 2018.
- GERSCOVICH, Denise, M. S. **Estruturas de Contenção Muros de Arrimo**. Faculdade de Engenharia Departamento de Estruturas e Fundações. Rio de Janeiro, 2008. 44p.
- JÚNIOR, Fuad Carlos Zarzar et al. **Patologias de Fundações de Edifícios Causadas por Ações Ambientais**. In: VI Congreso Internacional Sobre Patologia Y Recuperacion De Estructuras (CINPAR), Córdoba-Argentina. 2010.

MAREK, Carla Fernanda; NETO, Generoso De Angelis; MORALES, Daily. **PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO COM ÊNFASE NA QUALIDADE DA EXECUÇÃO**. Trabalhos de Conclusão de Curso do DEP, v. 1, n. 1, 2005.

MASSAD, Faiçal. **Obras de terra: Curso básico de geotecnia**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MILITITSKY, J. **Grandes escavações em perímetro urbano**.

MOLITERNO, A. **Caderno de muros de arrimo**. 2 d. São Paulo, Edgard Blucher, 1980.

MULLIGAN, W. **Epoxy Coated Reinforcing Bar**. In: Presented at the 2nd Chemical Coat Conference, held in Cincinnati, Ohio, May 10-11, 1978. 1978.

NEVILLE, A. M.; CREMONINI, R. A. **Propriedades do Concreto**. Editora Bookman. 5 Ed. 912 p. set 2015.

SENES, Jessyka de et al. **Estudo de caso: Análise da estabilidade de um muro de contenção com patologias**. 2018.

SOUZA, Vicente C. M.; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de Estruturas de concreto**. São Paulo. Ed. Pini, 1998.