



ROBERTO LUIZ DIAS

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO
DE JUNTAS DE CONTRAÇÃO DE UMA BARRAGEM DE CONCRETO
COMPACTADO COM ROLO**

CURITIBA

2019



ROBERTO LUIZ DIAS

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO
DE JUNTAS DE CONTRAÇÃO DE UMA BARRAGEM DE CONCRETO
COMPACTADO COM ROLO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Pós-Graduação em
Patologia das Obras Civas, Pós-Graduação *lato
sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial
para a obtenção do Grau de Especialista em
Patologia nas Obras Civas.

Orientador: Prof. Msc. Luis César De
Luca.

CURITIBA
2019

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pela vida, pelo incentivo e amor incondicional.

A minha esposa Joana Angélica Klosovski Likes, que sempre demonstrou amor, paciência, bom-humor e pelo apoio em todos os momentos, a minha gratidão e todo o meu amor.

A professores Mateus Barão e Luís César De Luca pelo incentivo, amizade, paciência, dedicação e estimulando a conclusão do trabalho.

A engenheira Bruna Godke por ter mostrado o caminho da pesquisa e ajudados a dar os primeiros passos com muito apoio de dedicação.

Aos engenheiros Marcos Soares, Hudson Goto e Isabela Oliveira pela viabilização da pesquisa.

Ao Marcelo Sanson que me acompanhou em várias jornadas durante a coleta de dados para realização deste trabalho.

À COPEL pela disponibilidade do trabalho e oportunidade.

RESUMO

A instrumentação de uma barragem torna-se uma ferramenta não apenas para a avaliação das condições de segurança do empreendimento em todas as suas fases, mas também para verificação de hipóteses adotadas em projetos. O presente estudo comparou o resultado dos deslocamentos de dois sistemas diferentes de auscultação de uma junta de contração de uma barragem: o método dos “três pinos” o qual foi desenvolvido no estudo, e os dados dos deslocamentos do medidor triortogonal de junta. Visto isso, o sistema de “três pinos” consiste na verificação da movimentação relativa entre trechos da parede seccionada por uma junta, que possibilitou verificar os deslocamentos nos eixos horizontais e verticais assim como o medidor triortogonal. Por fim, os resultados obtidos possibilitam confirmar parcialmente a hipótese inicial e correlacionam os resultados encontrados entre os dois equipamentos nos deslocamentos do eixo horizontal, correlacionando os resultados deste eixo com a temperatura média diária obteve-se valores lineares, seguindo um comportamento esperado dos deslocamentos da junta em relação a temperatura ambiente.

Palavras chave: Junta de Contração; Medidor Triortogonal; Deslocamentos de Junta.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução do número de acidentes e incidentes.....	7
Figura 2 - Esquema das camadas de lançamento.	14
Figura 3 - Junta de contração com manta não aderente.....	16
Figura 4 - Medidor triortogonal	26
Figura 5 - Orientação do eixos do medidor triortogonal	27
Figura 6 - Galeria onde o estudo foi realizado.....	31
Figura 7 - Junta instrumentada com bases de aço ara leitura dos deslocamentos relativos.....	32
Figura 8 – Lei dos Cossenos.....	34
Figura 9 – Pinos utilizados para marcação dos lados do triângulo.....	35
Figura 10 – Instalação dos pinos de aço	36
Figura 11 – Pinos instalado na junta de contração.....	36
Figura 12 – Croqui esquemático	37
Figura 13 - Leitura utilizando relógio comparador	43
Figura 14 – Posicionamento do medidor triortogonal e dos pinos de aço.	44
Figura 15 – Medições realizadas no equipamento dos “Três Pinos” com auxílio de um paquímetro.	46
Figura 16 – Coeficiente de Correlação entre Medidor Triortogonal e Leitura dos Pinos	48
Figura 17 - Coeficiente de Correlação Eixo Y entre Medidor Triortogonal e Leitura Real dos Pinos	48
Figura 18 – Deslocamentos da junta de contração em relação a temperatura.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de acidentes e incidentes ocorridos em 2017	5
Tabela 2 – Como os dados estavam organizados.	41
Tabela 3 – Valores dos deslocamento do medidor triortogonal em milímetros	44
Tabela 4 - Valores dos deslocamento dos pinos de aço.	46
Tabela 5 – Variação absoluta dos deslocamento no eixo X.	50
Tabela 6 – Variação absoluta no eixo Y.	51

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Deslocamento Horizontal	33
Equação 2 – Deslocamento Vertical	33
Equação 3 - Deslocamento	33
Equação 4 – Lei dos Cossenos Ângulo (a)	34
Equação 5 – Lei dos Cossenos Ângulo (b)	34
Equação 6 – Lei dos Cossenos Ângulo (c)	35
Equação 7 – Valor Ajustado Ângulo (a)	37
Equação 8 – Valor Ajustado Ângulo (c).....	37
Equação 9 – Valor Ajustado Ângulo (b)	37
Equação 10 – Valor de α	38
Equação 11 - Valor de β	38
Equação 12 – Valor de γ	38
Equação 13 – Conferência do valor dos ângulos	39
Equação 14 – Valor do ângulo γ'	39
Equação 15 – Valor do deslocamento X	39
Equação 16 – Valor do deslocamento Y	39
Equação 17 – Deslocamento Horizontal	40
Equação 18 – Deslocamento Vertical	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	2
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. Objetivo Geral	3
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
1.3. HIPÓTESE	3
1.4. JUSTIFICATIVAS	4
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	7
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	8
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
2.1. CONCRETO COMPACTADO COM ROLO (CCR)	10
2.1.1. Fabricação	12
2.1.2. Transporte.....	13
2.1.3. Lançamento	13
2.1.4. Adensamento	15
2.1.5. Cura do concreto	15
2.1.6. Junta de Contração.....	16
2.2. EFEITOS DA TEMPERATURA NO CONCRETO	17
2.2.1. Concreto massa.....	17
2.2.2. Grau de restrição	17
2.2.3. Coeficiente de dilatação térmica	18
2.3. OCORRÊNCIA DE RUPTURAS DE BARRAGENS	19
2.4. MONITORAMENTO DE BARRAGEM.....	21
2.4.1. Auscultação de barragem	23
2.4.2. Instrumentos de auscultação de barragem	23
2.4.3. Erros associados	28
3. LEVANTAMENTO DE CAMPO	30
3.1. VISÃO GERAL DA PESQUISA	30
3.2. ÁREA DE ESTUDO	30
3.2.1. Instrumentos e períodos analisados	31
3.2.2. Desenvolvimento matemático	32

3.2.3. Preparação dos dados	40
3.2.4. Correlação entre variáveis	41
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	43
4.1. ANÁLISE DOS VALORES DOS DESLOCAMENTOS OBTIDOS NO MEDIDOR TRIORTOGONAL.....	43
4.2. ANÁLISE DOS VALORES DOS DESLOCAMENTOS OBTIDOS NO MÉTODO DOS “TRÊS PINOS”	45
4.3. CORRELAÇÃO ENTRE O MEDIDOR TRIORTOGONAL E O MÉTODO DOS “TRÊS PINOS”	47
4.4. CORRELAÇÃO ENTRE AS MEDIDAS DOS DESLOCAMENTOS E A TEMPERATURA MÉDIA.....	49
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
5.1. Considerações finais	52
5.2. Recomendações para trabalhos futuros	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1. INTRODUÇÃO

O foco principal deste trabalho é comparar sistemas de instrumentação de medição de juntas de contração de uma barragem de concreto, tornando os meios de instrumentação de grandes construções simplificados e aumentando as opções de equipamento para monitorização de estruturas de concreto.

Manter as barragens de usinas hidrelétricas em bom estado, garantindo sua integridade e aumentando a sua vida útil é essencial para a continuidade da sua principal função, gerar energia elétrica.

Atualmente, as barragens construídas de concreto compactado com rolo são motivadas pela rapidez do método construtivo, pelo baixo consumo de cimento, entre outros fatores. A possibilidade de construção deste tipo de barragem depende se as condições geológicas, hidrológicas, técnicas e econômicas locais são favoráveis. As barragens são obras que envolvem grandes preocupações ambientais, sociais e econômicas e exigem um controle rigoroso, com total inspeção e garantia da segurança, sendo que o desempenho das estruturas deve ser assegurado através de investigações das suas reais condições, a fim de eliminar qualquer possibilidade de acidentes por colapsos e rupturas (THOMÉ *et al.*, 2008).

O monitoramento de barragens é a principal ferramenta na avaliação de suas condições de segurança, o qual pode detectar variações, decorrentes a processos de envelhecimento e alterações ambientais, que possam vir a colocar em risco a durabilidade ou a estabilidade de estruturas (SARÉ *et al.*, 2006 e Vieira Junior *et al.*, 2006).

Em barragens de concreto, a detecção de eventuais deslocamentos diferenciais entre os blocos que as compõem, pode ser realizada através de leituras em instrumentos específicos. Dentre eles, citam-se os medidores tipo triortogonais, que permitem a detecção de abertura e fechamento das juntas, recalque diferencial entre blocos e deslizamentos horizontais, porém o equipamento apresenta alto custo, complexidade e manutenção para sua utilização.

Assim buscando uma alternativa plausível pelo desenvolvimento do equipamento de “três pontos” seguiu os conceitos de Thomaz (2007), que relata que a verificação da movimentação relativa entre trechos da parede seccionada por uma junta poderá ser determinada com precisão mediante instrumentação da junta com bases de aço e leitura das movimentações relativas. Sendo assim, no presente estudo optou-se por instalar os pinos sem gabarito, pois na prática geralmente não se dispõem deste utensílio, constituindo-se, portanto, um triângulo escaleno, que pode ser definido como um polígono que possui três lados, todos com medidas diferentes.

As medidas de cada lado do triângulo são realizadas com auxílio de um paquímetro mecânico com resolução de 0,01 mm onde efetuamos a medida da distância entre os sulcos dos blocos dos pinos, assim pode-se definir as medidas de abertura/fechamento da junta a qual corresponde ao eixo X e os recalques diferenciais os quais correspondem ao eixo Y.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Visando obter resultados de monitoramento confiáveis, que não dependam somente da acurácia humana, foi motivada a seguinte questão problema:

“É possível desenvolver um equipamento de monitoramento de juntas de contração em uma barragem de concreto, com precisão milimétrica com a utilização de instrumentos simples e econômico onde os resultados possam ser comparados com os dados dos deslocamentos de um medidor triortogonal? ”

Para tanto, foi desenvolvido um estudo de caso, em uma barragem de concreto compactado com rolo que apresentava juntas de contração e possuía histórico de leituras da instrumentação dos medidores triortogonais, para determinar as correlações.

1.2. OBJETIVOS

A presente pesquisa possui como objetivo geral e objetivos específicos os seguintes itens:

1.2.1. Objetivo Geral

Comparar os resultados de dois sistemas diferentes de monitoramento dos deslocamentos de uma junta de contração de uma barragem de concreto.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Comparar o processo desenvolvido de monitoramento de juntas de contração, com base na análise dos dados de instrumentação dos medidores triortogonais;
- Verificar a correlação entre a temperatura ambiente com comportamento das juntas de contração;

1.3. HIPÓTESE

A principal hipótese deste estudo é que os resultados da validação do método de monitoramento de juntas de contração de uma barragem de concreto, possa ser comparado com os valores obtidos no medidor triortogonal, assim desenvolvendo um método de monitoramento de juntas com simplificação de manuseio e instalação, gerando economia para o setor, porém com precisão milimétrica para obtenção de resultados de maior confiabilidade.

1.4. JUSTIFICATIVAS

Após a construção de várias barragens pelo mundo, não existem dúvidas que há séculos estas estruturas produzem benefícios imensuráveis ao ser humano. Atualmente aplicam-se aos mais variados fins dentre eles: a defesa contra inundações, o abastecimento, o combate às secas, a irrigação, a navegação, a disposição de rejeitos e especialmente, a utilização de barragens para geração de energia elétrica.

O desenvolvimento de equipamentos e técnicas de monitorização permitem hoje uma avaliação mais eficiente da segurança de projeto destas estruturas nas diversas fases de sua existência.

Através da instrumentação dos blocos com medidores triortogonais em todas as juntas de contração, tem-se um controle quase completo dos deslocamentos verticais e horizontais da barragem em relação a pontos de referência. Porém a instrumentação dos blocos constitui um método adequado para auscultação de barragens (Silveira,2003).

Durante a análise dos resultados da instrumentação de uma barragem, as medições dos deslocamentos horizontais e verticais devem ser consideradas simultaneamente, mesmo que obtidas por meios diferentes (Cruz,2009).

Com o objetivo de reduzir riscos de acidentes nos empreendimentos de barragens, em virtude dos impactos causados por eles, justifica-se a atual preocupação em instrumentar barragens com tecnologia moderna. Através da instrumentação localizam-se pontos nas barragens onde há níveis críticos de segurança estrutural e operacional. A estrutural é mais importante, pois compromete a estabilidade da barragem. A operacional relaciona-se ao funcionamento dos equipamentos da barragem, por exemplo, medidor triortogonal. Os instrumentos devem ser instalados de acordo com as especificações e indicações de projeto. Todas as modificações de projeto ocorridas durante a implantação ou mesmo durante a operação devem ser sistematicamente registradas em relatórios operacionais.

Por verificar e confirmar hipóteses de segurança associadas aos critérios da fase de projeto, a instrumentação é um item de fundamental importância e sua eficiência depende de um plano racional de implantação da sistematização das informações coletadas, quando processadas, gerando hipóteses de modelagem, através de software, em tabelas e gráficos, proporcionando uma visualização imediata do comportamento da barragem, informando de forma real as situações vivenciadas em campo.

Assim a instrumentação de uma barragem está totalmente ligada a segurança que a estrutura fornece para os usuários. No Brasil no ano de 2017 entidades fiscalizadoras listaram 45 barragens que mais os preocupam em relação a segurança. A maioria se deve a problemas de baixo nível de conservação da barragem, mas existem outros motivos como insuficiência do vertedor e falta de comprovação documental da estabilidade da barragem. É possível identificar que mais da metade das barragens que preocupam os órgãos fiscalizadores pertencem a órgãos e entidades públicas (RSB, 2017).

No mesmo período foram relatados 4 acidentes e 10 incidentes no Brasil. A descrição dos eventos encontra-se na Tabela 01.

Tabela 1 - Lista de acidentes e incidentes ocorridos em 2017 (RSB, 2017)

Data	Evento	Nome da barragem	UF	Causa provável
06/01/2017	Acidente	Rincão dos Kroeff	RS	Cheia
16/02/2017	Acidente	Cacimba Nova	PE	Percolação pela fundação
03/03/2017	Acidente	Barreiros	PE	Percolação pela fundação
01/12/2017	Acidente	Lageado	MS	Galgamento
07/03/2017	Incidente	Açude dos irmãos	PB	Vertedor insuficiente quase causou galgamento
10/03/2017	Incidente	PCH Tamboril	GO	Rompimento parcial de membrana PEAD e aterro na margem esquerda
08/05/2017	Incidente	Conjunto de Baias VIGA	MG	Recalque após remoção de rejeitos/sedimentos

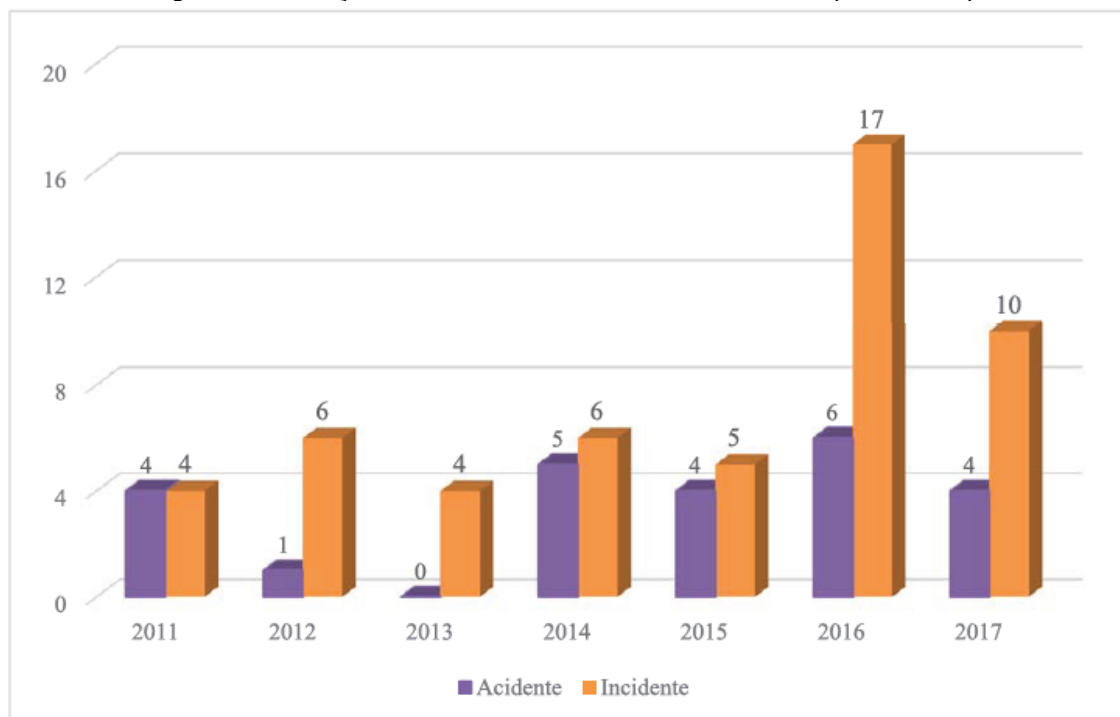
23/05/2017	Incidente	Conjunto de Baias VIGA	MG	Recalque após remoção de rejeitos/sedimentos
05/06/2018	Incidente	Pindoba	MG	Vertedor insuficiente quase causou galgamento
11/07/2017	Incidente	Casa de Pedra	MG	Surgências após elevação do nível da água do reservatório alterado
07/2017	Incidente	PCH Rodulf	SC	Pequeno rompimento em junta de dilatação
12/08/2017	Incidente	PCH Verde 4A	MS	Vazamento dentro da casa de força
05/10/2017	Incidente	Capané	RS	Excesso de percolação
16/12/2017	Incidente	Água Limpa	ES	Material carreado obstruindo vertedor

Dos 4 acidentes reportados, verifica-se que em dois deles (no Rio grande do Sul e em Mato Grosso do Sul), as barragens romperam durante eventos de cheias. Já os outros dois acidentes verificados em Pernambuco ocorreram em duas barragens diferentes do mesmo empreendimento. Os rompimentos aconteceram alguns dias após o primeiro enchimento, em época de seca.

Foram reportados 10 diferentes incidentes, ocasionados pelas mais diferentes causas: vertedor insuficiente para escoamento de cheias que causou galgamento (sem rompimento da estrutura), percolações, vazamentos em estruturas eletromecânicas e juntas de dilatação, trincas devido a recalques, etc. Chama a atenção da ocorrência de 2 incidentes diferentes na mesma barragem, no intervalo de poucos dias.

A Figura 1 mostra a evolução temporal no número de acidentes e incidentes, onde pode-se definir acidentes como eventos não programados os quais interrompem as atividades de forma inesperada e incidentes pode-se definir como uma ocorrência não planejada com um potencial de causar um acidente. Em geral reportam-se em média 4 acidentes anualmente. Já o número de incidentes reportados tem apresentado aumento de tendência, provavelmente ocasionado pela maior fiscalização *in loco* efetuada pelos órgãos fiscalizadores.

Figura 1 - Evolução do número de acidentes e incidentes (RSB, 2017).



Neste sentido, justifica-se investigar uma metodologia para determinação de deslocamentos tridimensionais que possa fornecer informações com confiabilidade, porém de maneira simplificada nos quesitos custos, manutenção e manuseio.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo de caso foi realizado através de revisão bibliográfica e um levantamento de campo com avaliação dos resultados obtidos. A revisão bibliográfica abordou três assuntos que predominam neste trabalho: o concreto compactado com rolo, segurança de barragem e monitoramento de barragem.

Destaca-se nesta pesquisa o levantamento de campo conduzido, baseado em dados do medidor triortogonal e desenvolvimento de um método de “três pontos” para monitorização de uma junta de contração de uma barragem de concreto compactado com rolo, corroborando seus resultados dos deslocamentos com os resultados do medidor triortogonal, sendo assim foi realizado um desenvolvimento matemático o qual possibilite identificar os

deslocamentos com precisão milimétrica. No capítulo quatro deste trabalho os resultados obtidos no programa experimental são amplamente discutidos e comparados para embasar as considerações finais da pesquisa.

Esta pesquisa enquadra-se como um projeto fixo de acordo com Robson (2002), que relata ser mais usual utilizar dados e estratégias quantitativas em projetos fixos. Pode ser classificada também como explanatória, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema a torná-lo explícito ou a construir hipóteses, pela pretensão de buscar uma explicação de uma situação ou problema, a fim de buscar os padrões relacionados aos fenômenos sendo pesquisados e para identificar relações entre aspectos e fenômenos.

Com relação a natureza da pesquisa, é denominada quantitativa, devido a opiniões e informações que serão traduzidos em números para classificá-los e ordená-los;

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho apresenta 5 capítulos que visam aprofundar o estudo da instrumentação de barragem de concreto.

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos que foram adotados.

O **Capítulo 2** apresenta a fundamentação teórica e discorre sobre os seguintes assuntos: Concreto Compactado Com Rolo - Apresenta uma descrição do método e discorre sobre as etapas construtivas para utilização do concreto compactado com rolo. Efeitos da Temperatura no Concreto. Segurança de Barragens – apresenta-se uma descrição sobre algumas das principais ocorrências de ruptura de barragens. Monitoramento e avaliação da segurança da barragem - apresenta-se uma revisão bibliográfica a respeito de monitoramento e avaliação da segurança de barragem, destacando-se o sistema de instrumentação por medidor triortogonal.

O **Capítulo 3** trata sobre o levantamento de campo, o qual apresenta a caracterização da pesquisa, a unidade de análise, bem como a visão geral da pesquisa, área de estudo com o detalhamento dos critérios de coleta e preparação dos dados e do tratamento destes e análise dos resultados.

O **Capítulo 4** apresenta a análise dos resultados deste estudo, seguidos da apresentação da proposta da ferramenta de monitoramento de juntas de contração de uma barragem de Concreto Compactado com Rolo, em atendimento ao objetivo geral da pesquisa.

O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

Este capítulo apresentou os objetivos, hipóteses e justificativas do problema de pesquisa proposto neste trabalho. Já o seguinte dará fundamento ao experimento objeto dessa pesquisa, descrevendo sobre o tema, fatores considerados relevantes para elaboração da pesquisa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica do presente estudo foi dividida em quatro partes. A primeira refere-se a Concreto Compactado com Rolo e todas suas etapas construtivas, dando destaque para Juntas de Contração. A segunda trata-se dos Efeitos da Temperatura no Concreto. A terceira apresenta Segurança de Barragens e envolve o relato dos principais acidentes com barragens. Por fim é apresentado sobre Monitoramento de Barragem, relatando o Medidor Triortogonal como instrumento de auscultação de barragens.

2.1. CONCRETO COMPACTADO COM ROLO (CCR)

Segundo a terminologia do ACI 116 R (2000), Concreto Compactado com Rolo é um material que, se encontrando em seu estado fresco, suporta o peso de um rolo vibratório compactador no momento da compactação. Segundo essa especificação, esse concreto pode apresentar características no estado endurecido bastante similares às obtidas em concretos convencionais, o que é alcançado pela alta energia necessária para sua compactação, diferente da aplicada em concretos convencionais, normalmente vibrados. Contudo, com a evolução da tecnologia de concreto, há cada vez mais a aproximação do concreto compactado com rolo de um concreto convencional, tanto pelas suas características no estado fresco quanto no estado endurecido, o que induz a pensar na introdução desse material em obras que antes só poderiam ser obtidas com concretos convencionais, como por exemplo, uma barragem em arco.

A *Portland Cement Association* (1984), define o concreto compactado com rolo como um concreto misturado, espalhado e compactado com equipamentos tradicionalmente empregados na pavimentação rodoviária. Deve ser seco, de consistência particular, tratando-se de um material seco e trabalhabilidade a qual permita utilizar rolos vibratórios em sua compactação.

Segundo Andriolo (1989), o desenvolvimento atual do CCR é resultado da necessidade de se projetar barragens de concreto que pudessem

ser construídas mais rápida e economicamente em relação as estruturas as quais empregam os métodos construtivos convencionais. O autor define CCR mais como concreto de consistência seca, que no estado fresco, pode ser misturado, transportado, lançado e compactado por meio de equipamentos usualmente utilizados em serviços de pavimentação. É uma tecnologia de construção, não um critério ou tecnologia de projeto, na qual se utiliza um concreto de consistência denominada *no-slump*, no seu estado fresco, onde pode ser definido como slump zero. Ou seja, o CCR é um concreto que no seu estado fresco é capaz de suportar um equipamento de compactação externa.

Pacelli de Andrade (1984) define CCR como concreto de consistência seca, comparado ao concreto massa convencional, não mensurável pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, consolidado por vibração externa, utilizando rolo vibratório. Para sua consolidação, o CCR deve permanecer em uma consistência suficiente para suportar o peso do equipamento de vibração e permitir fácil adensamento, apresentando no final, depois de endurecido, as características comumente obtidas no concreto massa convencional.

De acordo com Oliveira *et al.* (1995), o CCR é definido como sendo um concreto de consistência seca (*no slump*), aspecto arenoso com propriedades próprias, que é transportado, espalhado e compactado de forma contínua, através de maquinários usualmente aplicados em obras de terra e enrocamento.

Marques Filho (2005) descreve o CCR, mais abrangentemente, como uma técnica construtiva, com peculiaridade de uso intensivo de equipamentos tipicamente empregados em obras de terra /enrocamento, utilizando um material conhecido que é o concreto, procurando obter um máximo desempenho no quesito velocidade de lançamento, aliado a custos baixos.

Com base nas definições dos autores supracitados, pode-se afirmar que o Concreto Compactado com Rolo é uma técnica construtiva que busca obter um maior desempenho na velocidade de lançamento com baixos teores de cimento e baixos custos, tornando-se assim, uma opção bastante atrativa para a viabilização de grandes projetos com concreto massivo que normalmente

exigem cronogramas reduzidos, uma vez que os métodos tradicionais utilizados para a construção de barramentos possuem cronogramas extensos, o que torna o projeto mais oneroso.

A técnica utiliza maciçamente equipamentos de obras de terra, para colocação e compactação do concreto, diminuindo a parcela de mão-de-obra por unidade de volume quando comparado com obras de concreto convencional, gerando um processo industrial muito eficiente, com atividades repetitivas mensuráveis. Sua aplicação deve ser sempre analisada ao longo de todas as fases de implantação de um empreendimento, desde a detecção da necessidade da sociedade até o final de sua vida útil. O processo executivo impacta em todas as etapas construtivas, pois seu processo de execução e controle são particulares e totalmente diferentes da prática usual de concretos massa convencionais, bem como pode trazer aspectos a serem avaliados e monitorados ao longo da vida útil da obra.

A tecnologia do CCR é uma das alternativas mais indicadas, do ponto de vista de custo e benefício, para barragens com fins de acumulação de água como açudes para irrigação, para controle de enchentes, geração de energia, lazer e pavimentos. O CCR utilizado para construção de barragens e pavimentos concorre diretamente com tecnologias que utilizam terra e as que utilizam enrocamento.

2.1.1. Fabricação

O CCR pode ser produzido em diversas centrais misturadoras, dependendo da produção requerida e da velocidade de lançamento a ser praticada, destacando:

- Centrais convencionais, com balanças de pesagem e misturas de quantidades discretas de concreto;
- Centrais gravimétricas, com balanças de pesagem controladas por centrais computadorizadas;

- Centrais contínuas, à imagem de *pug-mills*, com dosagem feita através de correias transportadoras com células de carga controladas por centrais computadorizadas;

Normalmente, na fabricação do CCR utiliza-se um tipo de central gravimétrica, de mistura contínua ou baixo tempo de mistura (50 segundos), e cuja linha de produção pode ser dotada de misturadores do tipo forçado (*pug-mill*) (TRABOULSI, 2007).

2.1.2. Transporte

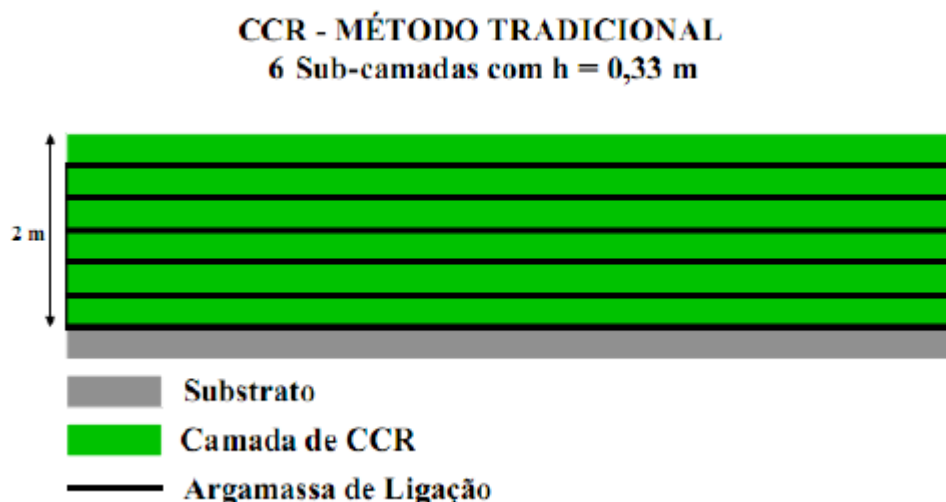
O CCR pode ser transportado até a praça de lançamento por caminhão basculante, correia transportadora ou até mesmo um sistema misto de correia, tubulação e caminhão, dependendo da logística do empreendimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008; RIBEIRO, 1998).

No entanto, o método mais usual é por caminhão, devendo ser tomados cuidados para se evitar a contaminação da praça (através da lavagem das rodas antes do ingresso do caminhão), perda excessiva de umidade e segregação do material.

2.1.3. Lançamento

O método tradicional consiste em executar o concreto em camadas horizontais longas, com altura variando entre 0,30 e 0,35 m. Esse processo resulta em um tempo de exposição da camada anterior de pelo menos 12 horas até sua cobertura pela camada subsequente, sendo necessária a aplicação da argamassa de ligação entre elas, e, eventualmente, tratamento da superfície, para garantir a monoliticidade e estanqueidade do conjunto (TRABOULSI, 2007). A Figura 2 mostra um esquema do método horizontal de lançamento para lance de concretagem com 2,0 m de altura composto por seis camadas de 0,33 m, e necessidade de elemento de ligação entre todas as camadas.

Figura 2 - Esquema das camadas de lançamento (BATISTA ET AL., 2002).



Cuidados com a ligação entre camadas justificam-se pela baixa resistência ao cisalhamento e alta permeabilidade nessas regiões, sendo um dos principais motivos de falhas em barragens de concreto, que ocorrem por: segregação na colocação da camada superior, compactação insuficiente na parte inferior da camada, e endurecimento da camada anterior. A ligação entre camadas é feita mediante a aplicação de argamassa ou “concreto de berço”, geralmente com espessura entre 0,5 e 2 cm e comprimento conforme especificações de projeto. Ambas as soluções devem considerar na dosagem teor de ar incorporado (6 a 10%) para minimizar a segregação e facilitar o espalhamento manual (RESENDE, 2005).

O espalhamento e nivelamento do concreto são realizados com uso de trator de esteira. Esse equipamento possui uma lâmina com dente curto que possibilita movimentação nos dois sentidos (para frente e para trás), e nas regiões próximas a interferências construtivas, cujo espaço de manobra é limitado, o espalhamento é feito manualmente (RIBEIRO, 1998).

2.1.4. Adensamento

O adensamento do CCR é feito com uso de rolos vibratórios, cujo parâmetro de controle é o número de passadas. Esse é definido em aterro experimental de modo que se obtenha a massa específica úmida mínima para atingir o grau de compactação especificado em projeto, com o rolo vibrando na sua capacidade ideal de compactação. Depende das características do rolo, altura da camada, características de dosagem do CCR, entre outros, situando-se geralmente entre seis e dez passadas (TRABOULSI, 2007).

Podem ser utilizados também compactadores manuais, placas vibratórias ou pequenos rolos, em regiões próximas às faces de montante e jusante, junto às paredes de galerias, ao redor de peças embutidas e demais interferências (RIBEIRO, 1998). Durante o processo de compactação, as seguintes considerações devem ser observadas:

- Inicialmente, deve ser executada uma passagem fechada do rolo, ou seja, sem vibração para a selagem de toda a camada;
- O rolo deve evitar fazer manobras ou mesmo parar completamente sobre o concreto, devendo operar predominantemente em linha reta;
- Na compactação de uma faixa determinada, o rolo deve sobrepor à faixa adjacente no mínimo 0,30 m de largura.

2.1.5. Cura do concreto

Até a aplicação da camada subsequente, o CCR deve ser mantido sob névoa úmida para evitar a evaporação prematura da água do concreto, sendo que para períodos de exposição prolongados segue-se o mesmo procedimento adotado para o concreto convencional.

No Brasil, o processo de cura é feito por nebulização, que pode ser manual ou mecânico. No primeiro, faz-se uso de dispositivos (espingardas ou

nebulizadores) ligados à rede de ar e água, restringindo-se o uso de mangueiras para evitar encharcamento da superfície.

2.1.6. Junta de Contração

Com o objetivo de evitar a ocorrência de fissuras de retração térmica, em barragens são previstas juntas de contração entre os blocos do maciço de CCR, sendo as mesmas espaçadas tipicamente a cada 15 m, chegando a atingir até 20 m ou mais dependendo do projeto. Estas juntas são colocadas durante o lançamento, definidas em projeto e normalmente executadas utilizando uma lona (lona plástica) envolta a uma placa de aço ou madeira. O conjunto lona / placa é posicionado na camada durante o espalhamento do CCR e logo em seguida, com auxílio de uma pá carregadeira, a placa é retirada, permanecendo apenas a lona embutida no concreto, conforme apresentado na sequência de execução da junta na Figura 3.

Figura 3 - Junta de contração com manta não aderente (MARQUES FILHO, 2005).



Outras soluções consideram o corte mecânico da junta com equipamento vibratório, logo após a compactação, onde podemos destacar que a junta pode ainda receber chapas de aço após o corte para evitar seu fechamento. (NAGAYAMA; JIKAN, 2003; NAGATAKI; FUJISAWA; KAWASAKI, 2008).

Qualquer que seja a técnica escolhida pode-se considerar junta ao longo de toda a extensão da seção transversal, ou junta induzida, criada em parte da seção tendo sua abertura completada pelos efeitos de retração térmica do concreto (MARQUES FILHO, 2005).

2.2. EFEITOS DA TEMPERATURA NO CONCRETO

Os concretos utilizados em estruturas de grandes dimensões devem passar por uma dosagem criteriosa, aliada a um procedimento de execução bem definido, a fim de evitar a ocorrência de efeitos indesejáveis, como demasiadas elevações de temperatura, formação de compostos expansivos e o aparecimento de fissuras de origem térmica.

2.2.1. Concreto massa

Popularmente é comum considerar que os estudos acerca da composição e das propriedades do concreto massa interessam, somente, aos envolvidos em projetos de barragens. Todavia, o conceito é amplo pois, com o advento dos concretos de alta resistência (com elevados consumos de materiais cimentícios) e a execução de edifícios altos com grandes blocos de coroamento, outras obras também passaram a compor os estudos térmicos dos concretos, inclusive porque precisam atender às exigências de durabilidade preconizadas nas normas brasileiras (ERN; HELENE, 2003).

2.2.2. Grau de restrição

O grau de restrição representa o quanto a estrutura está restringida à movimentação. No caso de blocos de fundações, quanto menor a relação L/H (L =Largura da peça, H =altura da peça) menor o grau de restrição.

Para fundações rígidas considera-se restrição total ($K_r=1$), à medida que se tornam flexíveis o grau de restrição decresce. Se a estrutura tiver total

liberdade para deformação ($K_r=0$), submetida a gradientes de temperatura, certamente não surgirão esforços de origem térmica no concreto (BITTENCOURT; GRAÇA; SANTOS, 2011). Em concreto massa, a ocorrência dessas tensões é mais suscetível devida à restrição externa exercida pela fundação.

2.2.3. Coeficiente de dilatação térmica

O coeficiente de dilatação térmica é o quanto de variação linear ocorre em um comprimento unitário devido a uma variação unitária de temperatura. Esta propriedade possui grande importância, pois sua grandeza é diretamente proporcional às variações volumétricas decorrentes de gradientes térmicos que a estrutura venha a ter. E, juntamente com a capacidade de deformação, pode-se definir limites de gradientes de temperatura cuja extrapolação pode ter como consequência a fissuração do concreto, portanto é um dos parâmetros que definem as tensões de tração na fase de resfriamento do maciço de concreto (FURNAS, 1997; MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Dentre os fatores influentes no coeficiente de dilatação térmica, está o tipo litológico do agregado. A influência do agregado na composição do coeficiente de expansão térmica do concreto é considerável, a sua parcela majoritária no volume da mistura do concreto e, portanto, quando houver opções de escolha preliminar dos materiais, deve-se primar por um agregado com coeficiente de dilatação térmica quanto menor possível para obtenção de concretos mais estáveis.

A pasta de cimento possui influência também sobre o coeficiente de expansão térmica pois, com o aumento de sua percentagem, diminui a percentagem de agregado gráudo e, por consequência, o aumento do diâmetro máximo do agregado, ou seja, um aumento do coeficiente da pasta ocorre também em um aumento no coeficiente do concreto. E, conforme Neville (1997), a umidade da pasta atribui comportamentos diferenciados, pois quando o

concreto se encontra seco ou saturado seu coeficiente de dilatação térmica é maior se comparado à situação de parcial saturação do mesmo.

Quanto à idade do concreto, não há variação significativa no coeficiente de expansão térmica pois se adquire influência somente na pasta de cimento que é único componente do concreto que se modifica com o tempo. Já a diminuição da relação água/cimento resulta em aumento sensível do coeficiente de dilatação térmica da pasta, igualmente como a sua evolução no decorrer das idades (FURNAS, 1997).

2.3. OCORRÊNCIA DE RUPTURAS DE BARRAGENS

Diversas barragens no mundo já romperam, provocando danos ambientais, sociais e econômicos. Dentre as centenas de casos de ruptura ocorridos ao longo da história, alguns casos famosos de falhas ou operações críticas, envolvendo barragens de diferentes tipos e características, destacam-se:

- Barragem St. Francis, nos Estados Unidos, a 75 km de Los Angeles, cuja ruptura ocorreu em 12 de março de 1928, cerca de 2 anos após o enchimento do seu reservatório, provocando a morte de mais de 400 pessoas a jusante do barramento (OUTLAND, 1977, *apud* BRASIL, 2005);
- Barragem Baldwin Hills, nos Estados Unidos, que rompeu em 14 de dezembro de 1963, causando a morte de 5 pessoas e a destruição de 41 casas (JANSEN, 1980, *apud* BALBI, 2008);
- Barragem Teton, nos Estados Unidos, rompida em 5 de junho de 1976, durante seu primeiro enchimento, quando o reservatório estava quase cheio, ocasionando a morte de 11 pessoas (JANSEN, 1980, *apud* BALBI, 2008);
- Barragem Malpasset, no sudeste da França, no distrito de Cannes, em novembro de 1959, aproximadamente 4 anos após o enchimento

do seu reservatório, causando a morte de 421 pessoas (JANSEN, 1980, *apud* BALBI, 2008);

- Barragem de Vajont, na Itália, a qual foi galgada por uma onda de 100 metros sobre a crista, causada por grandes deslizamentos de terra em seu reservatório, na noite de 9 de outubro de 1963, provocando a morte de cerca de 2.600 pessoas (JANSEN, 1980, *apud* BALBI, 2008);
- Barragem de Veja de Tera, que rompeu no dia 10 de janeiro de 1959, no noroeste da Espanha, causando a morte de 144 pessoas (JANSEN, 1980, *apud* BALBI, 2008);
- Barragem de Tour, rompida no dia 20 de outubro de 1982, na Espanha, provocando a morte de 12 pessoas (BERMEJO, 2006);
- Barragem de Pampulha, no Brasil, que rompeu em 20 de maio de 1954, sem registro de perdas de vidas humanas. No dia 16 de maio haviam sido observadas urgências a jusante da barragem, porém sem provocar alertas. Segundo estudos, a ruptura se deu por erosão interna (VARGAS *et al.*, 1955, *apud* BALBI, 2008);
- Barragem de Orós, no estado do Ceará, a qual foi galgada em 25 de março de 1960, provocando a morte de aproximadamente 1000 pessoas (JANSEN, 1980, *apud* BALBI, 2008);
- Barragens de Euclides da Cunha e Limoeiro, em São Paulo, que romperam por galgamento no dia 19 de janeiro de 1977, sem registro de perdas de vidas humanas (BALBI, 2008);
- Barragem de rejeitos da Mineração Rio Verde, que rompeu no dia 22 de junho de 2001, provocando a morte de 5 trabalhadores da mineração (HUAMANU, 2001, *apud* BRASIL, 2005);
- Barragem de rejeito da indústria de papel na fazenda Bom Destino, do Grupo Iberpar, no município de Cataguases (MG), no Brasil, que rompeu no dia 29 de março de 2003, liberando lixívia (seiva de eucalipto) no córrego do Cágado e rio Pomba, afetando propriedades

rurais e áreas urbanas. Entretanto, não houve registro de perdas de vidas humanas (FLORESTAL CATAGUASES, 2003);

- Barragem Camará, no Brasil, situada no município de Alagoa Grande, no estado da Paraíba, rompida em 17 de junho de 2004, provocou a morte de 5 pessoas e mais três mil desabrigados (VALENCIO, 2006);
- Barragem São Francisco, da Mineração Rio Pomba, localizada na cidade de Mirai (MG), rompeu no dia 10 de janeiro de 2007, provocando o deslocamento de mais de 765 moradores, porém sem registros de vítimas fatais decorrentes do acidente (BALBI, 2008).
- Barragem de Algodões, a 250 km de Teresina, no Piauí, rompeu no dia 27 de maio de 2009, provocando a morte de pelo menos 4 pessoas (CARVALHO e PARAJARA, 2009).
- O rompimento da barragem de Fundão no município de Mariana em Minas Gerais, rompeu 5 de novembro de 2015, causou o maior impacto ambiental da história brasileira envolvendo barragens de rejeitos, o desastre matou 19 pessoas (IBAMA, 2015).
- O rompimento da barragem de Brumadinho em Minas Gerais, em 25 de janeiro de 2019, a barragem de rejeitos classificada como de "baixo risco" e "alto potencial de danos" resultou em 206 mortes e 102 pessoas desaparecidas (SOUZA; FELLET, 2019).

2.4. MONITORAMENTO DE BARRAGEM

Segundo Balbi *et al.* (2012), para evitar acidentes com barragens, que podem ser catastróficos e atingir centenas de quilômetros ao longo do vale a jusante, deve-se procurar promover a segurança das barragens atuando em dois níveis: a gestão em exploração normal e a gestão em situação de emergência. O primeiro refere-se às atividades de manutenção, inspeção e observação de rotina da barragem e o segundo refere-se à definição e à mobilização de meios materiais e de recursos técnicos e humanos especiais necessários à gestão da

crise e à minimização de danos na eventualidade da concretização de um acidente.

Em outras palavras, o primeiro refere-se ao monitoramento da barragem e o segundo ao plano de ações emergenciais.

Focando-se no primeiro deles, de acordo com Balbi (2008), as inspeções visuais e a instrumentação são as principais ferramentas do monitoramento de barragens, que são complementares entre si. Enquanto a primeira constitui excelente instrumento de avaliação global do desempenho das estruturas, a segunda agrega informações pontuais, por vezes dificilmente detectadas pelo olho humano, por mais capacitado que esse seja.

Especificamente em barragens de concreto, Portella *et al.* (2012) indicam que a inspeção visual é uma técnica usada para investigar problemas em superfícies de concreto, tais como fissuras, eflorescências, desagregação e lixiviação, embora deva-se ter cuidado para evitar erros devido a especiais manifestações patológicas do concreto.

O objetivo final do monitoramento é fornecer elementos para a avaliação do comportamento de barragens que, segundo RSB (2017) devem obedecer aos seguintes procedimentos:

- Análise dos documentos de projeto;
- Recuperação e leitura de todos os documentos relacionados com a construção da barragem e seu comissionamento;
- Análise das deteriorações detectadas através de inspeções visuais durante os anos de operação;
- Análise das informações coletadas pela instrumentação;
- Estudos dos possíveis modos e mecanismos de falha das estruturas;
- Reavaliação da segurança da estrutura admitida como 'nova', tendo em mente a geometria atual, as características dos materiais, descontinuidades existentes e dados reais coletados pela instrumentação, utilizando critérios de projeto e ferramentas computacionais atuais.

Para Balbi (2008), a fim de tornar o ciclo de avaliação completo, é conveniente acrescentar a esses procedimentos a definição dos níveis de segurança da barragem em função dos indicadores investigados no processo de avaliação do comportamento.

Caso a operação esteja nos limites estabelecidos, o processo operacional prossegue e, caso a operação esteja fora dos limites operacionais definidos, registra-se e relata-se a ocorrência. Em seguida, analisa-se o fato por meio da avaliação do projeto, da operação, da manutenção e do monitoramento e verifica-se a necessidade da implementação de modificações.

O importante é que cada anomalia operacional detectada seja rigorosamente avaliada e uma ação adequada seja introduzida no processo (Oliveira, 2010).

2.4.1. Auscultação de barragem

O termo “Auscultação”, comum da medicina, vem a tempos sendo empregado na construção civil com vistas ao monitoramento. Neste sentido, o termo pode ser entendido como um conjunto de formas de observação do comportamento da barragem e fundações, para controlar suas condições de segurança, comprovar a validade das hipóteses e dos métodos de cálculos utilizados no projeto e verificar a necessidade de ações corretivas (ITAIPU, 2013).

2.4.2. Instrumentos de auscultação de barragem

Em barragens de concreto, as principais grandezas medidas pela instrumentação são (ELETROBRÁS, 2003; SILVEIRA, 2012):

- Deslocamentos absolutos e relativos;
- Deslocamentos diferenciais entre blocos;
- Recalque da fundação;

- Temperatura do concreto;
- Tensões na armadura (se existente);
- Carga nos cabos de protensão (se existente);
- Subpressões na fundação;
- Abertura de juntas entre blocos; e
- Vazões de drenagem e infiltração.

Medidas de variações de níveis d'água a montante e a jusante das estruturas, precipitação pluviométrica e de temperatura ambiente na área do projeto também devem ser efetuadas, pois serão de grande utilidade para auxiliar na análise e interpretação dos resultados da instrumentação (ELETROBRÁS, 2003).

A instrumentação permite tratar informações de locais que não são inspecionáveis ou onde a mudança de comportamento ocorre numa escala tão pequena que não é possível perceber visualmente e pode ser separada em dois grandes grupos. O primeiro é a instrumentação de auscultação de barragens, cuja finalidade principal é monitorar mecanismos estruturais de falhas possíveis de ocorrer e os parâmetros efetivamente necessários ao acompanhamento do desempenho das estruturas ao longo da sua vida útil. O segundo grupo diz respeito a eventos externos, de origem sísmica ou hidrometeorológica (BALBI, 2008).

A instrumentação completa engloba medições de deslocamentos, deformações, tensões, pressões, cargas nos membros estruturais, percolação e drenagem junto com fatores ambientais que afetam o comportamento da barragem tais como temperatura, nível do reservatório e precipitação (CARVALHO e ROMANEL, 2007).

Cruz (2009), relata que a segurança de uma barragem depende fundamentalmente do projeto de construção e que a instrumentação constitui um método de observação muito importante, mas não aumenta intrinsecamente a segurança da obra. Aponta ainda que os principais objetivos da instrumentação de uma barragem são:

- Verificar as hipóteses, os critérios e os parâmetros adotados em projeto, de modo a permitir o aprimoramento do projeto da própria obra em estudo, ou de futuras barragens, visando a condições mais econômicas e/ou mais seguras;
- Verificar a adequação de métodos construtivos;
- Verificar as condições de segurança das obras, de modo a serem adotadas medidas corretivas em tempo hábil, se necessárias.

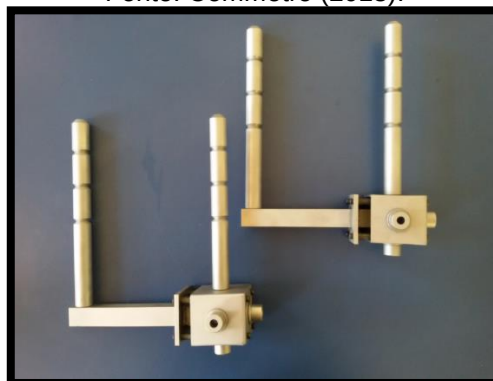
Os instrumentos podem ser classificados de acordo com alguns critérios, a saber:

- Material onde se encontra instalado;
- Princípio de funcionamento;
- Grandeza a ser mensurada;

No presente trabalho será abordado apenas o medidor tipo triortogonal que, conforme os critérios mencionados, apresenta princípio de funcionamento mecânico, pode ser empregado para mensurar grandezas de deslocamentos relativos e geralmente são instalados no concreto ou maciço rochoso.

Os medidores triortogonais de junta conforme a Figura 4, são usualmente empregados para monitorar fissuras e juntas, trincas ou juntas de contração entre blocos. Através deles, podem-se determinar deslocamentos diferenciais entre blocos segundo três direções ortogonais entre si (recalques diferenciais, deslocamentos horizontais e movimento de abertura e fechamento da junta).

Figura 4 - Medidor triortogonal
Fonte: Commetro (2018).



A auscultação de estruturas de concreto de uma barragem, através de observações de deslocamentos diferenciais entre blocos, é um procedimento usual para detectar eventuais anomalias de comportamento.

Matos (2002) descreve que o princípio de funcionamento de um medidor triortogonal de junta consiste em medir deslocamentos em três direções ortogonais, com o auxílio de um sistema de apoios construídos em aço inoxidável e fixados convenientemente na estrutura. Com relógio comparador adaptado para ser instalado nos furos existentes nas barras retangulares do medidor triortogonal de junta, obtém-se facilmente as medidas nos três eixos ortogonais desejados, e quando se compara as leituras entre as épocas observadas, eventuais deslocamentos são traduzidos em variações nas leituras. Silveira (2003), menciona que o relógio comparador usado para este fim deve apresentar campo de leitura da ordem de 10mm (ou mais) e sensibilidade de 1 micrômetro (0,001mm). Afirmar ainda que tal instrumento, desde que operado por pessoas cuidadosas e de bom nível técnico, permite uma precisão da ordem de $\pm 0,01\text{mm}$.

Como pode ser observado na Figura 5, o sistema de eixos triortogonais é orientado de modo que o eixo “x” forneça os deslocamentos de abertura ou de fechamento da junta, o eixo “y” os deslocamentos verticais e o eixo “z” os deslocamentos como deslizamento do bloco tanto para a parte

montante como para jusante. As bases de leitura, por estarem solidárias com a região instrumentada, acompanham os movimentos relativos ocorridos nesta região (Matos,2002).

O consórcio de instrumentos (pêndulos diretos, invertidos, extensômetros múltiplos, e medidores tipo triortogonais instalados em todas as juntas de contração) permite, em termos de deslocamentos entre os blocos, a detecção de recalques relativos ou de eventuais anomalias no comportamento da barragem (SILVEIRA, 2003). O autor ainda recomenda que todas as juntas de contração entre os blocos ao longo das paredes das galerias de drenagem da fundação recebam tais instrumentos, bem como as proximidades da crista da barragem, quando esta dispuser de galeria nesta região. Estes locais de instalação do instrumental de segurança e inspeção, passam a ser pelas mesmas razões, interessantes também para instalação de pontos para o monitoramento geodésico.

Figura 5 - Orientação do eixos do medidor triortogonal
Fonte: Autor (2018).



Outro aspecto a ser considerado é que os instrumentais de auscultação de barragens têm se consagrado como ferramenta para promover o monitoramento

destas estruturas. Enquanto medições micrométricas de juntas fornecem observações relativas, deformações absolutas podem ser obtidas caso os pontos de referência estejam fora da estrutura e além da área de influência do reservatório. Medições periódicas podem ser realizadas relativamente a estes pontos de referência absolutos. Vale lembrar que para avaliações de deformações estruturais permanentes (de caráter global/regional) necessitam-se dados absolutos.

2.4.3. Erros associados

É de senso comum nas mais diversas áreas do conhecimento que a toda e qualquer medida ou observação haverá associada uma incerteza ou “erros de medida” das mais diversas magnitudes. Silveira (2006), afirma que estes erros podem ser atribuídos à falibilidade humana, a imperfeições do equipamento e a influências das condições ambientais. Estes erros são tradicionalmente classificados em grosseiros, sistemáticos e acidentais.

Com o passar das décadas, uma evidente evolução do instrumental geodésico pôde ser observada, principalmente no que tange a precisão e o grau de automação na coleta de dados. Silveira (2003) cita que além da acurácia dos levantamentos de deformação, os principais fatores limitantes não são as precisões instrumentais, mas sim as influências ambientais e a desatenção humana, enumerando os seguintes aspectos:

- Refração atmosférica;
- Influências térmicas que afetam os componentes eletrônicos, mecânicos e ópticos dos instrumentos (sejam eles quais forem) bem como a estabilidade das estações de levantamento;
- A instabilidade das estações de monitoramento (por instalação ou movimentação inadequadas);
- Falta de calibração apropriada dos equipamentos utilizados;
- e
- Falta de entendimento, por parte dos usuários, das fontes de erro e uso adequado das observações coletadas.

A tomada de leituras de parâmetros ambientais (temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa do ar) podem influenciar nas respostas de alguns instrumentos.

Este capítulo consistiu numa revisão bibliográfica dos assuntos inerentes à temática do trabalho, abordando o concreto compactado com rolo, ocorrência de ruptura de barragens e monitoramento de barragem. Este conhecimento foi utilizado para a execução do levantamento de campo descrito no capítulo a seguir.

3. LEVANTAMENTO DE CAMPO

A seguir é apresentado o método de pesquisa adotado para a realização deste trabalho no intuito de alcançar o objetivo geral e os objetivos específicos propostos. O método engloba a caracterização e a visão geral da pesquisa, contemplando sua organização e as etapas de desenvolvimento, com a descrição dos procedimentos de coleta, preparação, seleção, tratamento e análise dos dados obtidos.

3.1. VISÃO GERAL DA PESQUISA

Após a realização da revisão bibliográfica, o desenvolvimento desta pesquisa ocorreu em cinco estágios, relacionados às leituras da instrumentação de auscultação instalada na junta onde foi realizada o levantamento de campo: área de estudo; instrumentos e períodos analisados; coleta dos dados; preparação de dados e correlação entre variáveis.

3.2. ÁREA DE ESTUDO

A barragem é do tipo gravidade constituída em CCR com membrana impermeabilizante em CCV na face de montante, tendo 95 m de altura máxima, na seção das adufas de desvio e 67 m de altura em relação ao leito do rio; 550 m de extensão na crista e 49,5 m de largura na base e 5m no topo. É constituída de 28 blocos de 20 m cada, com talude de montante vertical e jusante 1V:0,74H, possuindo em 300 m do seu comprimento (entre os blocos 6 a 20) uma calha vertente, inserida no próprio corpo da barragem, revestida de CCV. O restante da barragem (blocos 1 a 5 e 21 a 28) é composta, em sua face jusante, de degraus em CCR aparente.

A barragem possui uma galeria de inspeção e drenagem situada na parte inferior em toda sua extensão e uma galeria na parte superior entre os blocos 3 e 26. As galerias possuem 2,50 m de largura e 2,80 m de altura sendo dotadas de sistema de esgotamento por gravidade, escoando as águas percoladas pelos

drenos incorporados na laje da face e/ou infiltradas no maciço conforme apresentado na Figura 6. Pelas galerias foi executada a cortina principal de drenagem, que também servem de acesso ao interior do maciço para monitoramento da barragem, sendo que, na galeria inferior, encontra-se o painel de instrumentação. A barragem é monitorada pelo uso de um conjunto de instrumentos de auscultação composta de piezômetros, marcos superficiais, drenos de cortina, drenos de fundação, drenos de junta, medidores de vazão, termômetros internos de concreto, e Medidores Triortogonais de Junta.

Figura 6 - Galeria onde o estudo foi realizado.
Fonte: Autor (2018).



3.2.1. Instrumentos e períodos analisados

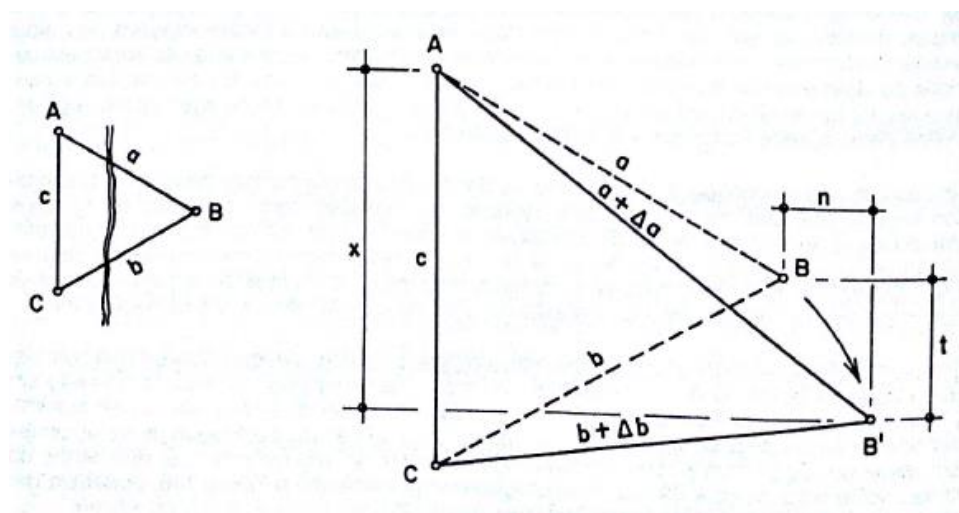
Nas análises realizadas neste estudo, foram usadas as leituras do medidor triortogonal localizado nos blocos 19/20, onde foi instalado as bases de aço as quais vão ser retratadas posteriormente. O estudo foi restringido a esses blocos por apresentarem uma junta de contração com uma maior facilidade de identificação para instalação das bases de aço.

Apesar de se dispor das leituras de anos anteriores, restringiram-se os dados, aos dias os quais a pesquisa esteve em andamento, pois os dados muito antigos poderiam incluir características que já não estão presentes ou que foram peculiares daquela época.

3.2.2. Desenvolvimento matemático

O desenvolvimento do equipamento seguiu os conceitos de Thomaz (2007), que relata que a verificação da movimentação relativa entre trechos da parede seccionada por uma junta poderá ser determinada com precisão, mediante instrumentação da junta com bases de aço e leitura das movimentações relativas entre essas bases com extensômetro; instrumenta-se, por exemplo, uma junta com três bases constituindo um triângulo equilátero, nas condições da Figura 7.

Figura 7 - Junta instrumentada com bases de aço ara leitura dos deslocamentos relativos (THOMAZ, 2007).



Geometricamente, o deslocamento horizontal " n " e o deslocamento vertical relativo " t " seriam expressos por:

$$n = \sqrt{(a + \Delta a)^2 - X^2} - \sqrt{a^2 - \frac{c^2}{4}} \quad 1$$

Onde:

$a + \Delta a$ = Valor da reta $\overline{AB'}$

x = Valor da distância entre os pontos $\bar{A}$ e $\bar{B'}$

a = Valor da distância entre os pontos $\overline{AB}$

c = Valor da distância entre os pontos $\overline{AB}$

$$t = x - \frac{c}{2} \quad 2$$

$$x = \frac{1}{2c} [(a + \Delta a)^2 - (b + \Delta b)^2 + c^2] \quad 3$$

Onde:

$b + \Delta b$ = Valor da distância entre os pontos $\overline{CB'}$

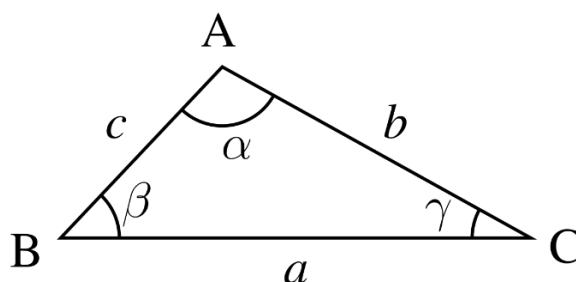
Assim Thomaz (2007) define que, com base nas observações e levantamentos efetuados no local da obra, entretanto, o técnico já poderá chegar na maioria das vezes ao diagnóstico do problema. Deve-se alertar, contudo, que juízos precipitados e ideias preconcebidas geralmente conduzem a diagnósticos incorretos. A similaridade de situações, algumas vezes muito forte, pode induzir a erro o técnico menos avisado ou menos cuidadoso.

O autor relata que as três bases de aço devem constituir um triângulo equilátero, o qual pode ser definido como um triângulo que possui os três lados congruentes. Além dos lados, os ângulos internos dessa figura apresentam as mesmas medidas: 3 ângulos de 60°, os quais totalizam 180°. Sendo assim a instalação do instrumento, exige gabaritos de alta precisão, o que pode tornar o processo completo e mais suscetível a erros de medidas entre os lados.

O estudo o qual vamos basear a pesquisa é denominado Lei dos Cossenos, a qual é um resultado muito importante para a geometria e para trigonometria, pois a mesma também traz subsídios para encontrar medidas de lados e ângulos de triângulos quaisquer. A lei dos cossenos relaciona os três lados e um ângulo do triângulo. A mesma afirma que em qualquer triângulo, o quadrado da medida de um lado é igual à soma dos quadrados das medidas dos outros dois lados menos duas vezes o produto das medidas desses dois lados pelo cosseno do ângulo formado por eles. Desse modo ao enunciar a lei dos cossenos, temos:

Lei dos cossenos. Dado um triângulo ABC, com $AB = c$, $AC = b$ e $BC = a$, como o da Figura 8, são sempre válidas as seguintes relações.

Figura 8 – Lei dos Cossenos
Fonte: Autor 2018.



$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \beta$$

4

Onde:

a = Valor da distância entre os pontos $\overline{BC}$

b = Valor da distância entre os pontos $\overline{AC}$

c = Valor da distância entre os pontos $\overline{BA}$

β = Ângulo correspondente ao ponto B

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos \alpha$$

5

Onde:

α = Ângulo correspondente ao ponto A

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$$

6

Onde:

γ = Ângulo correspondente ao ponto C

Dessa forma, aplicamos os mesmos conceitos para verificação da movimentação relativa entre trechos da parede seccionada por uma junta, onde os três pinos de aço devem constituir um triângulo escaleno, que pode ser definido como um polígono que possui três lados, todos com medidas diferentes. Os pinos de aço utilizados seguem o mesmo formado da Figura 9. As medidas realizadas em cada lado do triângulo, foi realizada com auxílio de um paquímetro mecânico da marca Mitutoyo com resolução de 0,01 mm onde efetuamos a medida da distância entre os sulcos dos blocos dos pinos.

Figura 9 – Pinos utilizados para marcação dos lados do triângulo
Fonte: Commetro (2018).



A sequência de imagens da Figura 10, mostra como foi realizada a instalação dos pinos de aço na junta de contração da barragem.

Figura 10 – Instalação dos pinos de aço
Fonte: Autor (2018).



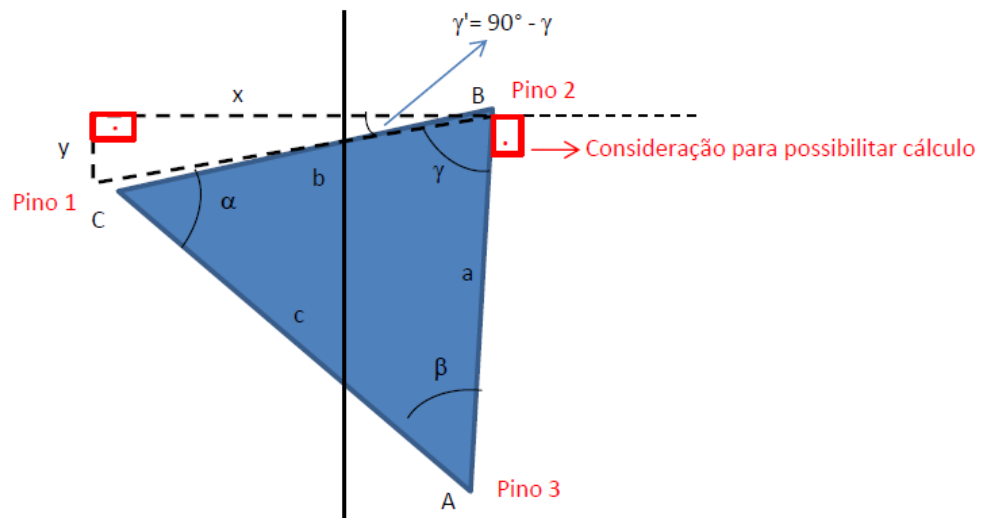
Assim sendo, os triângulos escalenos não são polígonos regulares nem possuem eixo de simetria. O perímetro de um triângulo escaleno é encontrado somando todos os lados e o valor da soma dos seus ângulos internos é igual a 180° . A Figura 11, mostra como os pinos foram instalados da junta de contração da barragem.

Figura 11 – Pinos instalados na junta de contração.
Fonte: Autor (2018).



A Figura 12 representa o croqui da instalação dos pinos e os ângulos os quais foram encontrados para o desenvolvimento matemático da instrumentação.

Figura 12 – Croqui esquemático
Fonte: Autor (2018).



O primeiro critério para execução dos cálculos de deslocamento é descontar o diâmetro dos pinos os quais são fixados na junta, assim o primeiro passo para o cálculo é representado pelas seguintes equações:

$$a = \overline{BA} - p \quad 7$$

Onde:

a = Valores das distâncias entre o pino 2 e pino 3

p = Valor do diâmetro da base de aço

$\overline{BA}$ = Distância entre os pontos B e A

$$c = \overline{AC} - p \quad 8$$

Onde:

c = Valores das distâncias entre o pino 3 e pino 1

$\overline{AC}$ = Distância entre os pontos A e C

$$b = \overline{CB} - p \quad 9$$

Onde:

b = Valores das distâncias entre os pontos

$\overline{CB}$ = Distância entre os pontos C e B

Obtendo os respectivos valores de $\overline{BA}$, $\overline{AC}$ e $\overline{CB}$, esses resultados serão aplicados nas seguintes equações onde vamos encontrar os ângulos α , β e γ , conforme consta no Croqui esquemático mostrado na Figura 3.

$$\alpha = \frac{(b^2 + c^2 + a^2)}{(2 \cdot b \cdot c)} \quad 10$$

Onde:

α = Ângulo alfa

b = Distância entre os pinos 1 e 2

c = Distância entre os pinos 2 e 3

a = Distância entre os pinos 3 e 1

$$\beta = \frac{(a^2 + c^2 + b^2)}{(2 \cdot a \cdot c)} \quad 11$$

Onde:

β = Ângulo beta

$$\gamma = \frac{(b^2 + a^2 + c^2)}{(2 \cdot b \cdot a)} \quad 12$$

Onde:

γ = Ângulo gama

A soma dos ângulos internos de um triângulo possui resultado fixo, que é sempre igual a 180° independente de sua classificação, forma ou tamanho, dessa forma podemos realizar a conferência dos resultados apenas somando os ângulos encontrados α , β e γ . Aplicando a seguinte equação:

$$\alpha + \gamma + \beta = 180^\circ \quad 13$$

Onde:

α = Ângulo alfa

β = Ângulo beta

γ = Ângulo gama

Assim, a próxima etapa consiste em verificar os deslocamentos relacionados aos movimentos das bases de aço em relação aos ângulos encontrados. Utilizando as seguintes equações podemos definir esses deslocamentos.

$$\gamma' = 90 - \gamma \quad 14$$

$$X = b . \cos (\text{Radianos} (\gamma')) \quad 15$$

$$Y = b . \sin (\text{Radianos} (\gamma')) \quad 16$$

Onde:

γ = Ângulo gama

b = Distância entre os pinos 1 e 2

Diante de todas as variáveis encontradas podemos definir o deslocamento dos blocos da junta, onde o deslocamento pode ser definido no plano horizontal, que corresponde o eixo X do plano cartesiano, ou deslocamento vertical o qual corresponde o eixo Y do plano cartesiano. Podemos definir que a primeira leitura de medidas, será classificada com referência, onde os deslocamentos só poderão ocorrer a partir da segunda série de medidas. O valor referência sempre será uma constante. Assim aplica-se os valores encontrados em duas equações distintas, tendo como resultado os deslocamentos nos eixos X e Y nas seguintes equações.

$$D_h = X^2 - X^1$$

17

Onde:

D_h = Deslocamento horizontal

X^2 = Segunda medida realizada

X^1 = Primeira medida realizada (Referência)

Encontrando o resultado do deslocamento horizontal podemos definir que, os valores positivos representam a abertura da junta entre blocos, onde os blocos estão se afastando entre si.

Os valores negativos representam o fechamento da junta entre os blocos, sendo assim, os blocos estão se aproximando entre si.

Para os valores do deslocamento no eixo vertical podemos definir pela seguinte equação.

$$D_v = Y^2 - Y^1$$

18

Onde:

D_v = Deslocamento vertical

Y^2 = Segunda medida realizada

Y^1 = Primeira medida realizada (Referência)

Sendo assim, os valores de deslocamento vertical positivos representam que o bloco da direita hidráulica (Pino 1) subiu em relação ao bloco adjacente, enquanto que os valores negativos representam recalque do bloco em questão.

3.2.3. Preparação dos dados

Os dados com as leituras dos medidores triortogonais de junta encontravam-se organizados em arquivos em formato de planilha. Desta forma, foi construído um banco de dados em formato Excel, procurando relacionar as informações da instrumentação instalada na junta com o novo formato de verificação da junta composta pelas bases de aço.

A Tabela 2 mostra um exemplo de como os dados encontravam-se organizados originalmente, em grandes arquivos contendo as séries históricas das leituras dos medidores triortogonais instalados em cada bloco, as colunas armazenam respectivamente: a data e hora da leitura, nível de água no reservatório e a temperatura.

Tabela 2 – Como os dados estavam organizados.
Fonte: Autor (2018).

Data	Hora	N.A.	Temperatura (°C)	Calibrador	x	y	z
08/03/2018	09:00	606,47	25,0	20,62	9,54	7,96	8,43
07/12/2017	10:00	610,07	25,0	20,62	9,50	8,38	9,15
16/11/2017	15:00	609,50	25,0	20,94	9,01	7,71	8,11

Também foi necessário entender como são obtidas em campo as medidas do instrumento aqui avaliado e o significado de cada grandeza obtida por eles.

Verificou-se uma periodicidade de leituras, que para os medidores triortogonais de junta era utilizada uma periodicidade trimestral. Nos procedimentos realizados neste trabalho, onde se busca comparar as leituras entre instrumentos, não houve problemas em fazer comparações entre instrumentos distintos, já que as leituras em sua maioria eram feitas no mesmo dia.

3.2.4. Correlação entre variáveis

Antes do cálculo das correlações de interesse, foi necessário agrupar-se os dados dos instrumentos, bem como selecionar os dados de leituras de instrumentos e temperatura correspondentes às datas que se queria relacionar.

Para analisar a correlação entre séries de leituras, ou seja, verificar as possíveis relações entre elas, a princípio só haveria uma comparação válida se fossem consideradas as leituras ocorridas no mesmo dia. Sendo assim, adotamos

uma periodicidade igual de leitura dos dois instrumentos distintos instalados na junta de contração executando a leitura do medidor triortogonal e das bases de aço.

Outro fator que teve correlação direta entre os instrumentos instalados e os quais foram utilizados como parâmetros para um melhor entendimento do comportamento dos instrumentos foi a temperatura média.

O presente capítulo apresentou o levantamento de campo assim como o desenvolvimento matemática a instrumentação em questão. No próximo capítulo serão apresentados os resultados pertinentes à pesquisa e todas as análises realizadas nos deslocamentos obtidos pelos diferentes equipamentos.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

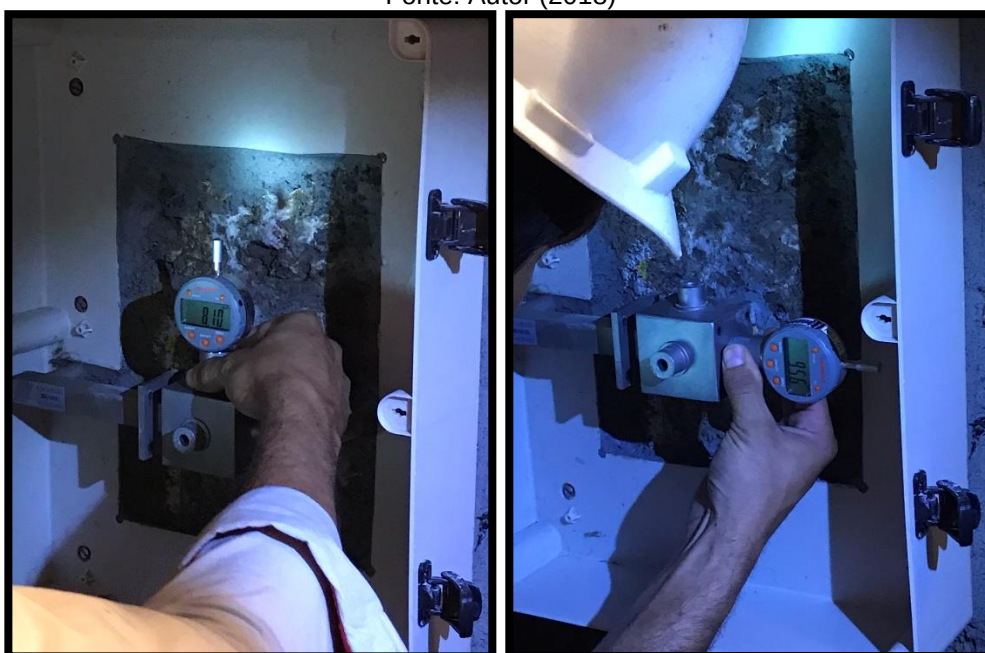
Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos no processamento dos dados e uma análise comparativa dos resultados.

4.1. ANÁLISE DOS VALORES DOS DESLOCAMENTOS OBTIDOS NO MEDIDOR TRIORTOGONAL

Em toda campanha de medidas eram realizadas as leituras do medidor triortogonal de junta e dos pinos instalados na junta de contração, pois se as medidas fossem realizadas em períodos distintos, os fatores intrínsecos relacionados a movimentação teriam grande influência na análise dos dados.

Primeiramente foram determinados os deslocamentos do medidor triortogonal onde, em cada campanha de medidas, eram realizadas utilizando um relógio comparador que permite uma precisão da ordem de $\pm 0,01\text{mm}$. A Figura 13, demonstra como as medidas eram realizadas no medidor triortogonal nos eixos X e Y.

Figura 13 - Leitura utilizando relógio comparador
Fonte: Autor (2018)



Pode-se visualizar na Figura 14 que os equipamentos tanto o medidor triortogonal quanto os pinos de aço foram instalados na mesma junta a qual foi analisada no presente estudo, o círculo vermelho na Figura indica a posição de instalação dos pinos de aço.

Figura 14 – Posicionamento do medidor triortogonal e dos pinos de aço.

Fonte: Autor (2018)



Os primeiros dados foram coletados no dia 16/11/2017 e serviram como referência comparativa para as próximas coletas obtidas. Estes dados foram relacionados em uma planilha onde os deslocamentos de cada campanha são comparados com a primeira campanha de coleta de dados, sendo o valor de cada coleta subtraído pelo valor da primeira coleta e assim sucessivamente. Na Tabela 3, é possível observar como os dados foram organizados.

Tabela 3 – Valores dos deslocamento do medidor triortogonal em milímetros

Fonte: Autor (2018).

Data	Temperatura Média (°C)	Eixo X	Eixo Y	ΔX	ΔY
16/11/2017	22,2	8,89	7,28	0,00	0,00
27/02/2018	21,0	9,22	7,01	0,33	0,27
10/04/2018	20,5	9,27	6,90	-0,38	0,38
08/06/2018	7,9	9,10	7,19	-0,21	0,09

20/07/2018	19,0	8,79	7,26	0,10	0,02
10/08/2018	7,0	8,74	7,31	0,15	-0,03
24/08/2018	16,5	8,55	7,26	0,34	0,02
24/09/2018	22,5	8,65	7,16	0,24	0,12
01/11/2018	17,3	8,98	7,26	-0,09	0,02

No eixo X da junta de contração onde pode ocorrer a aproximação ou o afastamento dos blocos, pode-se observar que os valores negativos correspondem a aproximação dos blocos, pois quando ocorre essa aproximação a medida realizada no relógio comparador aumenta, sendo assim, os valores positivos em relação ao eixo X correspondem ao afastamento dos blocos.

Analisando o eixo Y no qual os blocos podem sofrer diferença entre dois pontos da fundação, caracterizado como recalque diferencial, os valores apresentados de forma positiva indicam que o bloco da direita hidráulica da barragem sofreu um recalque diferencial em relação ao bloco da esquerda hidráulica, devido ao fato do medidor triortogonal apresentar hastes independentes posicionadas em cada bloco.

4.2. ANÁLISE DOS VALORES DOS DESLOCAMENTOS OBTIDOS NO MÉTODO DOS “TRÊS PINOS”

Na medida realizada nos pinos de aço utilizou-se um paquímetro que foi posicionado no sulco dos pinos para obter as medidas dos lados do triângulo, como relatado anteriormente, cada medida corresponde a um lado do triângulo o qual os pinos constituem, onde pose-se observar na Figura 15.

Figura 15 – Medições realizadas no equipamento dos “Três Pinos” com auxílio de um paquímetro.

Fonte: Autor (2018).



O conceito para obtenção dos valores do deslocamento seguiu da mesma forma do medidor triortogonal, onde o valor de referência sempre foi a primeira medida realizada. Na tabela 4 pode-se verificar a medida em milímetros correspondente aos lados A, B e C do triângulo e os deslocamentos correspondentes ao eixo X e Y. A Tabela 4 retrata como as medidas foram realizadas.

Tabela 4 - Valores dos deslocamento dos pinos de aço.

Fonte: Autor (2018).

Data	Temperatura Média (°C)	Lado A	Lado B	Lado C	ΔX	ΔY
16/11/2017	22,2	112,150	103,800	148,800	0,00	0,00
27/02/2018	21,0	112,150	104,100	149,500	-0,29	0,36
10/04/2018	20,5	111,650	104,200	149,650	-0,67	-0,42
08/06/2018	7,9	111,900	103,750	149,650	0,11	0,20
20/07/2018	19,0	112,000	103,800	149,700	0,20	-0,11
10/08/2018	7,0	111,850	103,700	149,300	0,14	-0,19
24/08/2018	16,5	111,650	102,950	149,100	0,60	-0,04
24/09/2018	22,5	111,900	103,300	148,950	0,52	0,60
01/11/2018	17,3	112,150	103,600	149,600	0,24	1,29

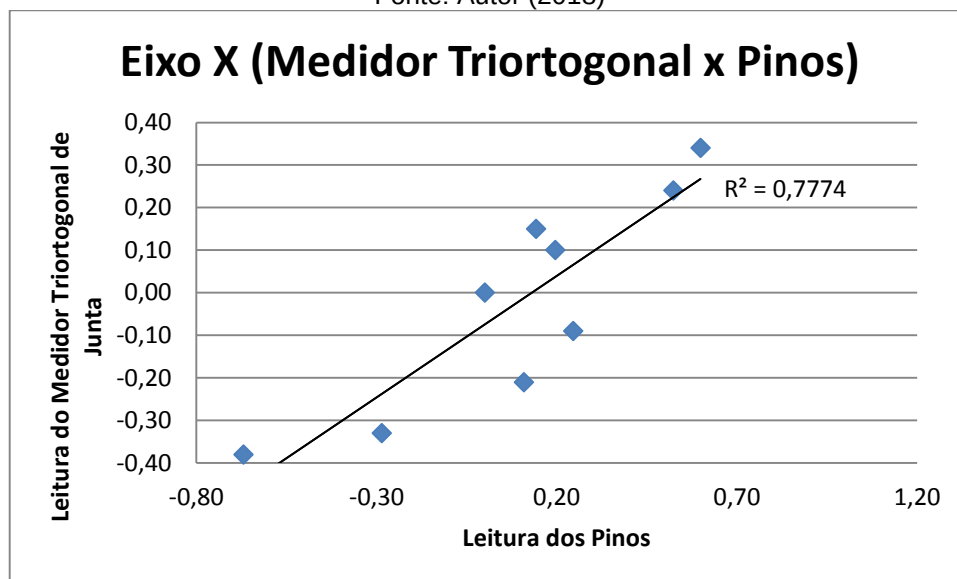
Efetuada uma análise no eixo X, pode-se definir que os valores de deslocamento horizontal positivos representam uma abertura entre os blocos e negativos correspondem a um fechamento. Os valores de deslocamento vertical positivos representam que o bloco da direita hidráulica (lado esquerdo da leitura) subiu em relação ao bloco adjacente, enquanto que negativos representam recalque.

4.3. CORRELAÇÃO ENTRE O MEDIDOR TRIORTOGONAL E O MÉTODO DOS “TRÊS PINOS”

As leituras do medidor triortogonal e dos pinos de medição foram alocados em duas matrizes distintas. Adotando-se as leituras individuais realizadas mensais, foram obtidos 9 pares de leituras para o cálculo de correlação.

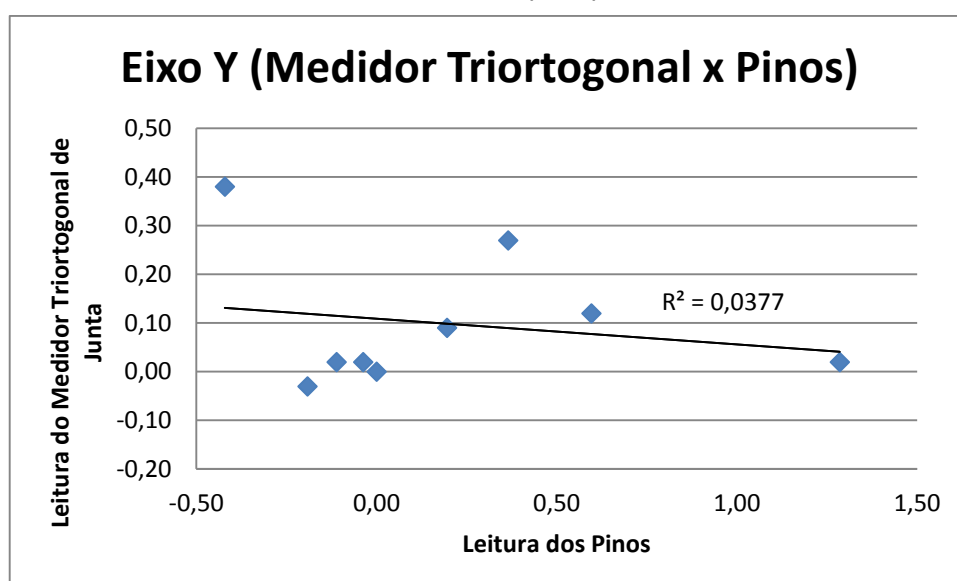
Sendo assim, verificou-se que a maior correlação entre as leituras ocorre para ambos os equipamentos na variável X. Conforme a Figura 16, é possível observar o coeficiente de correlação obtido igual 0,7774, confirmando que existe uma forte correlação entre o medidor triortogonal e as medidas utilizadas na leitura.

Figura 16 – Coeficiente de Correlação entre Medidor Triortogonal e Leitura dos Pinos
Fonte: Autor (2018)



Analisando as medidas entre o medidor triortogonal e os pinos de leitura no eixo Y não foi possível observar uma correlação significativa, onde o coeficiente de correlação foi de apenas 0,0377, afirmando que as medidas dos pinos não têm conexão com as leituras do medidor triortogonal, como exposto na Figura 17.

Figura 17 - Coeficiente de Correlação Eixo Y entre Medidor Triortogonal e Leitura Real dos Pinos
Fonte: Autor (2018).



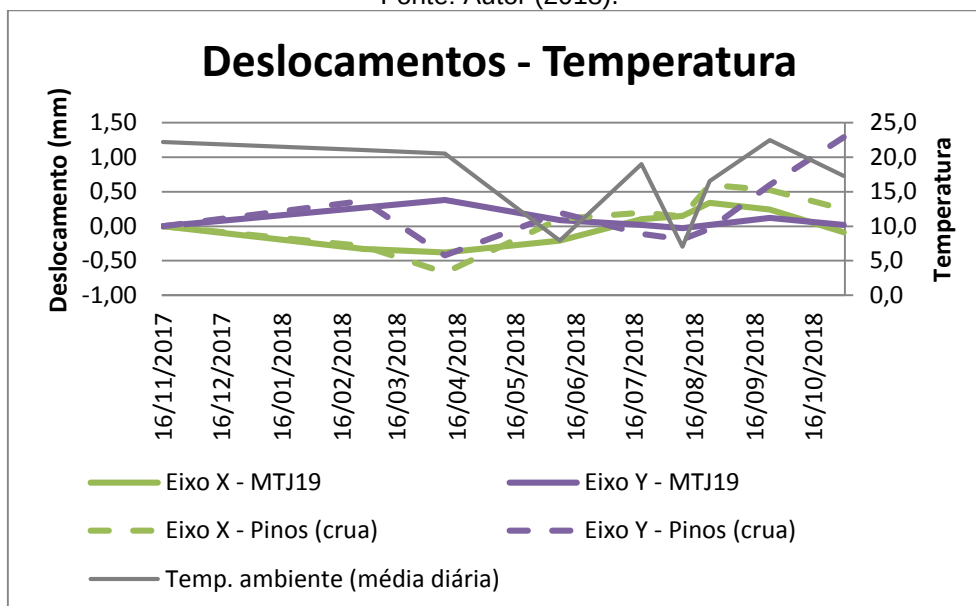
4.4. CORRELAÇÃO ENTRE AS MEDIDAS DOS DESLOCAMENTOS E A TEMPERATURA MÉDIA

A deformabilidade térmica das estruturas de concreto depende de vários fatores como o coeficiente de dilatação térmica do material e o gradiente térmico a que estão submetidas. Em peças estruturais esbeltas de concreto as mudanças de temperatura pouco influenciam, já as peças estruturais de grande porte são acometidas com maior intensidade por essas mudanças, pela grande influência do calor de hidratação associada à baixa quantidade de dissipação de calor, propriedades do concreto.

Numa eventual situação de deformação devido a uma variação de temperatura na qual as estruturas de concreto se encontrem em total liberdade, não haveria atribuição alguma de esforço ao concreto, ocorreriam apenas variações em suas dimensões ou volume, proporcionais ao gradiente térmico dirigido. Todavia, sempre há restrições, externas e/ou internas às deformações do concreto, advindas da ligação das estruturas com as fundações ou demais estruturas, das ligações do concreto com a armadura e da coesão própria, internamente ao concreto (BITTENCOURT; GRAÇA; SANTOS, 2011).

As restrições proporcionam o surgimento de esforços no interior da peça estrutural, com possibilidades de comprometê-la com fissurações no caso de os mesmos superarem a capacidade do elemento. Portanto, faz-se necessário e de suma importância a avaliação do grau de restrição existente na estrutura a fim de se determinarem as deformações e as tensões de origem térmica operantes. Esses comportamentos podem ser visualizados nas Figuras 18, onde analisando isoladamente os deslocamentos no eixo X (deslocamentos horizontais), é possível observar que com o aumento da temperatura os valores tendem para números negativos os quais indicam que nos blocos de concreto está ocorrendo uma dilatação e os blocos estão se aproximando.

Figura 18 – Deslocamentos da junta de contração em relação a temperatura.
Fonte: Autor (2018).



A variação da temperatura ambiente não é transmitida instantaneamente ao concreto, mas tem uma ação retardada sobre a variação da temperatura deste, sendo que quanto mais afastado da superfície exposta ao ar estiver o ponto considerado, menor será amplitude. Nas Figuras 19 e 20, podemos analisar a variação absoluta ocorrida entre os diferentes meios de auscultação nos eixos X e Y.

Tabela 5 – Variação absoluta dos deslocamento no eixo X.

Data	Temperatura Média (°C)	ΔX (Medidor Triortogonal)	ΔX (Pinos)	Variação Absoluta
16/11/2017	22,2	0	0	0%
27/02/2018	21	0,33	-0,29	214%
10/04/2018	20,5	-0,38	-0,67	43%
08/06/2018	7,9	-0,21	0,11	291%
20/07/2018	19	0,10	0,20	50%
10/08/2018	7	0,15	0,14	7%
24/08/2018	16,5	0,34	0,6	43%
24/09/2018	22,5	0,24	0,52	54%
01/11/2018	17,3	-0,09	0,24	138%

Tabela 6 – Variação absoluta no eixo Y.

Data	Temperatura Média (°C)	ΔY	ΔY	ΔY
16/11/2017	22,2	0	0	0
27/02/2018	21	0,27	0,36	33%
10/04/2018	20,5	0,38	-0,42	211%
08/06/2018	7,9	0,09	0,2	122%
20/07/2018	19	0,02	-0,11	650%
10/08/2018	7	-0,03	-0,19	533%
24/08/2018	16,5	0,02	-0,04	300%
24/09/2018	22,5	0,12	0,6	400%
01/11/2018	17,3	0,02	1,29	6350%

Segundo a NBR 6118 o coeficiente de dilatação térmica para o concreto armado é considerado igual a $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, salvo quando determinado especificamente para o concreto a ser usado.

Sendo assim pode-se considerar que a influência de temperatura está diretamente ligada aos deslocamentos horizontais da unta de contração da barragem de concretos, já nos deslocamentos verticais a influência de temperatura não segue um comportamento linear coerente devido ao fato que recalques estão relacionados a fundação da edificação.

O presente capítulo apresentou as análises feitas através dos resultados do levantamento de campo. No próximo capítulo serão tecidas as principais considerações finais do trabalho e sugestões para o aprimoramento do mesmo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente capítulo serão expostas as considerações finais que a realização do levantamento de campo nos proporcionou, além de sugestões para futuros trabalhos, assim como o aperfeiçoamento deste.

5.1. Considerações finais

Considera-se que se atingiu os objetivos pré-estabelecidos no início deste trabalho e corroborou-se a hipótese de que é possível o desenvolvimento de uma instrumentação para juntas de contração de uma barragem de concreto o qual os resultados dos deslocamentos possam ser corroborados com os valores obtidos no medidor triortogonal, assim desenvolvendo um método de monitoramento de juntas com simplificação de manuseio e instalação

Além disso pode-se observar que:

- a) A maior correlação encontrada entre os dois equipamentos foi nos valores obtidos nos deslocamentos do eixo X, valores os quais pode-se definir que ocorre uma grande influência entre os valores obtidos no medidor triortogonal e no equipamento dos “três pinos”, gerando um coeficiente de correlação de $R^2 0,7774$.
- b) Ao analisar os valores obtidos dos deslocamentos no eixo Y não se pode correlacionar as medidas entre os equipamentos analisados no presente estudo, onde o coeficiente de correlação foi de $R^2 0,0377$, não seguindo uma tendência similar nos eventos os quais o deslocamento proporciona para estrutura.
- c) E por fim analisando a temperatura ambiente e os deslocamentos no eixo horizontal, pode-se observar que os dados seguem uma tendência conforme descrita em literatura, quando a temperatura ambiente se eleva ocorre uma dilatação dos blocos e isso gera uma aproximação dos mesmos e quando a temperatura ambiente decai pode observar uma retração dos blocos gerando um

afastamento entre eles e isso pode ser conferido nos dois equipamentos analisados com referência ao eixo X.

5.2. Recomendações para trabalhos futuros

Com o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, observou-se que alguns itens necessitam de maiores investigações. São eles:

- I. Investigação sobre as fontes de erro que influenciam na coleta de dados do medidor triortogonal e do equipamento de “três pinos” desenvolvido nesse estudo e maneiras de minimizar ou corrigir seus impactos.
- II. Estudar outras possibilidades de testes estatísticos para avaliar os resultados.
- III. Continuação dos trabalhos de monitoramento da barragem de concreto durante toda a sua fase de operação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOLO, F. R. **Contribuições para o conhecimento e desenvolvimento do concreto rolado**. Rio de Janeiro: Barber Greene, 1989.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 116R-2000: **Cement and concrete terminology by Committee 116**. Farmington Hills, Michigan: ACI, 2000.

BALBI, D. A. F. **Metodologias para a elaboração de planos de ações emergenciais para inundações induzidas por barragens. Estudo de caso: barragem de Peti – MG** (Dissertação). Belo Horizonte, 2008.

BALBI, D. A. F.; BARBOSA, L. R. A.; SILVA, E. do S.; **Plano de ações emergenciais para barragens das PCH da CEMIG GT**. In: VIII Simpósio sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas. Porto Alegre – RS – 01 a 04 de Maio de 2012. T31-A02.

BERMEJO, J. P. C. **Inundaciones de octubre de 1982: la pantanada de Tous – Reportaje fotográfico, Parte I**. In: Revista del aficionado a la meteorología. n. 44. Out. 2006. Disponível em: <<http://www.tiempo.com/ram/2723/inundaciones-deoctubre-de-1982-la-pantanada-de-tous/>>. Acesso em: 03 mar. 2018.

BITTENCOURT, R. M.; GRAÇA, N. G.; SANTOS, S. B. **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011. p. 705-730.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional - MI, PROÁGUA Semi-Árido Obras (UGPO). **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília, 2002. 148p.

COMMETRO ENGENHARIA: 2018. Disponível em: <<http://www.commetro.com.br/home>>. Acesso em: 01 de jun. de 2018.

CARVALHO, C.; PARAJARA, F. **Barragem de Algodões se rompe e água atinge 20 metros de altura em cidade do Piauí.** O Globo, São Paulo, 28 de maio de 2009. Disponível em < <http://oglobo.globo.com/pais/barragem-de-algodoes-se-rompe-aguaatinge-20-metros-de-altura-em-cidade-do-piaui-3123058>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

CARVALHO, J. V.; ROMANEL, C. **Redes neurais temporais aplicadas ao monitoramento de barragens.** Revista eletrônica de Sistemas de Informação, v. 6, n 1, jan.-jun.2007.

CRUZ, P. T., MATERÓN, B.,FREITAS,M. **Barragens de Enroncamento com Face de Concreto.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

ERN, T.; HELENE, P. R. L. **Estudo das propriedades térmicas do concreto de média e alta resistência.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo/SP, 2003.

ELETROBRÁS. **Critérios de projeto civil de Usinas Hidrelétricas.** Out. 2003.

FLORESTAL CATAGUAZES. Página web compilada. 2003. Disponível em <<http://www.florestalcataguanas.com.br/page4.html>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

FURNAS. **Concreto: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades.** 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 1997. 852 p.

IBAMA. **Laudo técnico preliminar impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais,** Novembro de 2015.

ITAIPU: **ENERGIA:** 2013. Disponível em: <<http://www.itaipu.gov.br/energia/auscultacao>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

MARQUES FILHO, J. **Maciços Experimentais de Laboratório de Concreto Compactado com Rolo Aplicado às Barragens**. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. 278 f.

MATOS, S.F. **Avaliação de instrumentos para auscultação de barragem de concreto. Estudo de caso: deformímetros e tensômetros para concreto na barragem de ITAIPU** Dissertação de mestrado Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2002.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI, 2008.

NAGATAKI, S; FUSIJAWA, T; KAWASAKI, H. **State of art of RCD dams in Japan**. 50º Congresso brasileiro do concreto, Salvador, 2008.

NAGAYAMA, I; JIKAN, S. **30 Years History of Roller Compacted Concrete Dams in Japan**. IV International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams, Madrid, 2003.

NEVILLE, A. D. M.; **Propriedades do Concreto**. 2 ed. São Paulo: Editora Pini, 1997.

OLIVEIRA, P. J. R.; SALLES, F. M. **Concreto Compactado a Rolo – Características e Propriedades**. In: SIMPÓSIO DE OBRAS EM CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 1., 1995, São Paulo. Anais... São Paulo: CBGB/IBRACON/ IE- SP, 1995. p. 187 – 208.

OLIVEIRA, J. B. V. R. **Manual de operação de barragens de contenção de rejeitos como requisito essencial ao gerenciamento dos rejeitos e à segurança de barragens** (Dissertação). Ouro Preto, 2010.

PACELLI DE ANDRADE, W. **Notas sobre a 52º Reunião Executiva do CIGB - Comissão Internacional de Grandes Barragens**. Tóquio, Japão, 1984. 45 p.

PCA - Portland Cement Association. **Bonding Roller Compacted Concrete Layers**. In: Concrete Information. IS231.01W. PCA, Skokie, Illinois, USA, 1987. 8 p.

PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; SWINKA FILHO, V.; SOARES, M. S.; FERREIRA, E. S. **Investigação física-química de uma barragem de concreto com mais de 50 anos de operação**. Cerâmica, São Paulo, v. 58, n. 347, p. 374-380, jul./set. 2012.

RSB. Relatório de segurança de barragens. ANA. Agência Nacional de Água, Brasília, 2017.

RESENDE, F.D. **Concreto compactado com rolo – Melhores práticas**. Construtora Norberto Odebrecht SA, 2005.

RIBEIRO, A.B. **Betão compactado com cilindros – Composição e características**. Tese de doutorado em engenharia, Universidade do Porto, 1998.

ROBSON, C. **Real World Research: a resource for social scientists and practitioner researchers**. 2nd Edition. Malden: Blackwell Publishers, 2002.

SARÉ, A. R.; LIGOCKI, L. P.; SAYÃO, A.; GERSCOVICH, D. M. S.; PINHEIRO, G. F.; **Revisão das condições de segurança da barragem de Curuá-Una (PA)**. In: XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Curitiba, 2006. v. 4. p.1977 - 1981. Disponível em: <<http://eng.uerj.br/~denise/artigos/taludes/estabilidade/cobramseg2006.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2018.

SILVEIRA, J. F. **A Instrumentação e comportamento de barragens de concreto.** São Paulo: Oficina de textos 2003.

SILVEIRA, J. F. **Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento.** - São Paulo: Oficina de textos 2006.

SILVEIRA, J. F. A. **Curso de instrumentação e segurança de barragens** (slides de aula). Curitiba, 2012.

SOUZA F.; FELLET J. **Brumadinho pode ser 2º maior desastre industrial do século e maior acidente de trabalho do Brasil.** Época, 2019. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Brasil/noticia/2019/01/brumadinho-pode-ser-2-maior-desastre-industrial-do-seculo-e-maior-acidente-de-trabalho-do-brasil.html>>. Acesso em: 29 jan. 2019.

THOMAZ, Ercio – **Trincas em Edifícios, causas, prevenção e recuperação** – Co-edição IPT/EPUSP/PINI – São Paulo, 2007.

THOMÉ, A.; PRIETTO, P. D. M.; GIRARDELLO, V.; SALECKER, J. **Aplicação de metodologias de inspeção e segurança em barragem do sistema FECOERGS.** In: VI Simpósio Brasileiro Sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, Belo Horizonte – MG, 2008. T24 – A10. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/resumo_art.php?id=142>. Acesso em: 25 jun. 2018.

TRABOULSI, M. A. **Análise do Comportamento de Juntas de CCR com Alto Teor de Finos.** Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

VALENCIO, N. F. L. S. **O controle das águas como fator de progresso e de risco: as representações institucionais dos Grandes Projetos Hídricos no Nordeste.** In: III ENCONTRO DA ANPPAS, 2006, Brasília-DF.

VIEIRA JUNIOR, L. P.; MACHADO, O. B.; AMARO; P. R.; HELENE, P.
Segurança das barragens de concreto. Concreto e Construções, no 42,
IBRACON. Mar., 2006.