



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

---

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

**MAURÍCIO BARCELOS RUAS**

**ELABORAÇÃO DE UM ROTEIRO PARA PROJETO DE BARRAGEM DE TERRA**

**Palmas – TO**

**2015**

**MAURÍCIO BARCELOS RUAS**

**ELABORAÇÃO DE UM ROTEIRO PARA PROJETO DE BARRAGEM DE TERRA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M. Sc. Edivaldo Alves dos Santos

**Palmas – TO**

**2015**

**MAURÍCIO BARCELOS RUAS**

**ELABORAÇÃO DE UM ROTEIRO PARA PROJETO DE BARRAGEM DE TERRA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: M. Sc. Edvaldo Alves dos Santos

Aprovado em: 07/11/2015

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. M. Sc. Edvaldo Alves dos Santos

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Jaqueline Henrique

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Carlos Spartacus da Silva Oliveira

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

**Palmas – TO**

**2015**

## RESUMO

Um projeto nada mais é do que um desenho gráfico da estrutura a ser construída, feita atualmente por meio de programas específicos. Nele estão contidos os detalhamentos, cortes, dimensões, nome do proprietário da obra, do projetista, da obra, as escalas de medidas do desenho, etc., ou seja, nos projetos possuem todas as propriedades gráficas e informações que auxiliam na execução, no controle, entre outras atividades da obra. E nas barragens de terra o assunto não é diferente, é preciso trabalhar com projetos.

Barragens de terra são estruturas que existem há muito tempo atrás e que podem ser definidas como estruturas que utilizam o peso próprio para resistir aos esforços que a estabiliza e aos que tendem a desestabiliza-las. Essas construções são geralmente feitas com material argiloso ou enrocamento, que quando compactados, adquirem uma resistência á forças tangenciais e normais, e também á passagem da água.

Para a realização deste trabalho foi necessário determinar os aspectos hidrológicos, geotécnicos e os elementos da barragem, além de um ponto para estudo.

A cota máxima obtida para a vazão máxima de projeto foi de 10,788 m. Por meio desse resultado pode-se afirmar que a cota de inundação, pegando como base a seção transversal, é a 245. A altura total da barragem é de 14,0 m, onde foi somada a altura máxima da lamina de água do reservatório com o comprimento da folga.

**Palavra chave:** Projeto; Barragem de terra; Vazão de projeto; Estudos hidrológicos.

## ABSTRACT

A project is nothing more than a graphic drawing of the structure to be built, currently made with the aid of specific software. In the software, there are many details, dimensions, cuts, name of the construction's owner, designer's name, construction name, the drawing scales and etc. In other words, the projects are required to have all the graphic proprieties and information that help to execute and control several construction activities. In the dams, there is no difference; it is crucial to pay special and specific attention to projects.

Dams are structures that are used since long ago and that can be defined as structures that use its own weight to resist against the pressures on it structure. Those constructions are built with clay like materials or riprap, which when compacted, gains a resistance to normal and tangential forces, as well as to the water flowing.

For this paper, it was necessary to determine the hydrological, geotechnical and dam aspects, as well as the chose of point of study.

The maximum quota obtained to the maximum flow rate was 10,788 m. By this result, it is possible to state that the flood elevation, having the transversal section as a base, its 245. The dam's total height is 14,0 m, where it it was the sum between the water blade height of the tank (reservoir), with the length of the gap (slack).

**Key words:** Project; Dam; Project flow rate; Hydrological studies.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Barragem de concreto gravidade.....	15
Figura 2 – Barragem de concreto estrutural com contrafortes .....	16
Figura 3 – Barragem de concreto em arco de dupla curvatura .....	16
Figura 4 – Barragem de terra homogênea .....	17
Figura 5 - Barragem de terra-enrocamento com núcleo central.....	18
Figura 6 - Barragem de terra-enrocamento com núcleo inclinado para a montante..	18
Figura 7 - Barragem de enrocamento com membrana de concreto .....	19
Figura 8 - Barragem em aterro hidráulico.....	19
Figura 09 – Elementos de uma barragem de terra.....	24
Figura 10 – Filtro vertical.....	34
Figura 11 – Filtro horizontal tipo “sanduíche” .....	34
Figura 12 – Extravasor em canal lateral.....	37
Figura 13 – Envoltória de resistência .....	40
Figura 14 – Caixa de cisalhamento .....	41
Figura 15 – Esquema da câmara de ensaio triaxial .....	42
Figura 16 – Círculos de Mohr.....	42
Figura 17 – Localização do Rio Providência .....	47
Figura 18 – Bacia delimitada utilizando o ArcGis .....	48
Figura 19 – Obtenção das constantes K,a,b,c por meio do software Plúvio 2.1.....	49
Figura 20 – Mapa da dinâmica da cobertura e uso da terra do Tocantins .....	50

Figura 21 – Mapa da dinâmica da cobertura e uso da terra do Tocantins .....	51
Figura 22 – Obtenção da cota máxima da lamina de água do reservatório por meio do software Canal .....	52
Figura 23- Seção transversal do exutório localizado no Rio Providência .....	53
Figura 24- Análise de estabilidade do talude de montante por meio do programa GeoStudio 2007 .....	57
Figura 25- Análise de estabilidade do talude de jusante por meio do programa GeoStudio 2007 .....	58

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Terminologia do Sistema Unificado (Pinto, 2000). -----	21
Quadro 2 – Sistema unificado de classificação dos solos (S.U. C). (Caputo, 1998)-	21
Quadro 3 – Sistema de Classificação do H. R. B (Caputo, 1998) -----	22
Quadro 4 – Valores típicos de ângulo de atrito e coesão obtidos a partir de ensaios de cisalhamento em diversos tipos de rochas e solo (Hoek e Bray,308) (Guidicini e Nieble, 1983) -----	32
Quadro 5 – Velocidades limites em função do material das paredes do canal (Atlas, 2011) -----	38
Quadro 6 – Coeficiente de escoamento superficial para áreas rurais (Tucci, 2000)-	45



# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO -----	12
1.1 OBJETIVOS -----	14
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i> -----	14
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i> -----	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO -----	15
2.1 <i>Barragem</i> -----	15
2.2 <i>Barragens de concreto</i> -----	15
2.2.1 Barragem de concreto gravidade (concreto massa) -----	15
2.2.2 Barragem de concreto estrutural com contrafortes -----	16
2.2.3 Barragem de concreto em arco de dupla curvatura -----	16
2.3 <i>Barragens de terra</i> -----	17
2.3.1 Barragem de terra homogênea -----	17
2.3.2 Barragem de terra - enrocamento -----	17
2.3.3 Barragem de enrocamento com membrana de concreto -----	18
2.3.4 Barragem em aterro hidráulico -----	19
3. SOLOS -----	19
3.1 <i>Classificações dos solos</i> -----	20
3.1.1 Sistema Unificado de Classificação -----	20
3.1.3 Solos residuais -----	22
3.1.4 Solos transportados -----	23
3.1.5 Solos orgânicos -----	23
3.1.6 Solo lateríticos -----	23
4. ELEMENTOS DE UMA BARRAGEM -----	24
4.1 <i>Crista</i> -----	25
4.2 <i>Bordas livres</i> -----	26
4.2.1 Cheias máximas -----	26
4.2.2 Efeito pendular -----	26

4.2.3	Superelevação das ondas pela ação dos ventos	27
4.2.4	Ação das vagas	27
4.2.5	Cálculo da altura das ondas	28
4.2.6	Cálculo da velocidade das vagas	29
4.3	Taludes	30
4.3.1	Talude de montante	30
4.3.2	Proteção do talude de montante	30
4.3.4	Talude de jusante	31
4.3.5	Proteção do talude de jusante	31
4.3.6	Dimensionamento das inclinações de taludes	31
4.4	Trincheiras de vedação	32
4.5	Filtro	32
4.5.1	Filtro vertical	33
4.5.2	Filtro horizontal	33
4.5.3	Dimensionamento dos filtros	33
4.6	Drenos de pé	35
4.7	Cortinas de injeção	35
4.8	Poço de alívio	36
4.9	Tapetes impermeáveis á montante	36
4.10	Sistemas de drenagem das águas pluviais	36
4.11	Sangradouros ou extravasor	37
5.	ENSAIOS DE CISALHAMENTO DE TALUDES	39
5.1	Atrito	39
5.2	Coesão	39
5.3	Ensaio para a determinação da resistência de taludes	40
5.4	Ensaio de cisalhamento direto	40
5.5	Ensaio de compressão triaxial	41
6.	ESTUDOS HIDROLÓGICOS	43

7. METODOLOGIA -----	47
7.1 ASPECTOS HIDROLÓGICOS -----	47
7.2 ASPECTOS GEOTÉCNICOS -----	55
7.3 ELEMENTOS DA BARRAGEM -----	56
8. RESULTADO E DISCUSÃO-----	61
9. CONCLUSÃO -----	66
BIBLIOGRAFIA -----	68

## 1. INTRODUÇÃO

É de fundamental importância que em uma obra de engenharia civil, em particular, tenha projetos que auxiliem no momento da execução das estruturas, bem como na otimização de custos e compras de materiais. Em se tratando deste assunto, deve-se dizer baseados em experiências na prática, que ainda hoje, mesmo com diversos programas computacionais que existem para a elaboração de projetos, muitos profissionais ou pessoas físicas que possuem o interesse de construir ou comandar uma obra, não buscam dar ênfase no uso de projetos, e sim prezam pela experiência vivida em sua carreira profissional.

Um projeto nada mais é do que um desenho gráfico da estrutura a ser construída, feita atualmente por meio de programas específicos. Nele estão contidos os detalhamentos, cortes, dimensões, nome do proprietário da obra, do projetista, da obra, as escalas de medidas do desenho, etc., ou seja, nos projetos possuem todas as propriedades gráficas e informações que auxiliam na execução, no controle, entre outras atividades da obra. E nas barragens de terra o assunto não é diferente, é preciso trabalhar com projetos.

Barragens de terra são estruturas que existem há muito tempo atrás e que podem ser definidas como estruturas que utilizam o peso próprio para resistir aos esforços que a estabiliza e aos que tendem a desestabilizá-las. Essas construções são geralmente feitas com material argiloso ou enrocamento, que quando compactados, adquirem uma resistência às forças tangenciais e normais, e também à passagem da água.

A prática de compactação dos maciços de terra teve início anos atrás, onde se faziam esse processo utilizando manada de carneiros ou as próprias pessoas. No século XIX para o século XX, é que foram surgindo os primeiros equipamentos mecânicos (rolo compactador pé de carneiro ou liso, etc.;) para este fim.

Não só os processos construtivos tiveram uma evolução com o passar do tempo, mas também os elementos que compõem a barragem, e um dos grandes exemplos são os filtros verticais e horizontais criados pelo renomado Terzaghi. Este

elemento da estrutura além de evitar problemas, ainda proporciona segurança para o aterro.

Como os processos construtivos e as ferramentas computacionais voltadas para a engenharia estão acompanhando a evolução da tecnologia é inaceitável que uma obra atualmente seja executada sem a elaboração de projetos.

Construir é uma atividade que depende muito de detalhamentos, cálculos, especificações, tomada de decisões, entre outras coisas. Devido esta complexidade é necessário elaborar projetos para toda obra a ser executada, pois com o uso constante deles pode-se ganhar tempo e otimização no custo, itens indispensáveis em uma construção. Entretanto, não é uma realidade em todos os empreendimentos da construção civil a elaboração de projetos.

Com a falta de projeto, muitas estruturas podem chegar a colapso, podendo ter como prejuízo não somente a perda da obra, mas também danos à uma sociedade mais próximas à estrutura, pois se tratando de uma barragem que comumente é utilizada para a formação de reservatórios, havendo uma ruptura da estrutura, o volume armazenado pode ocasionar danos materiais e perdas de vidas.

Pensando neste assunto, é que se buscou neste trabalho, elaborar um roteiro que possibilite uma análise rápida e prática para a elaboração de projetos de barragem de terra, utilizando ferramentas computacionais e cálculos à mão, se necessário.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

- Elaborar um roteiro para projeto de barragem de terra utilizando ferramentas gráficas e alguns cálculos manualmente.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Escolher um local na calha de um rio observando a topografia e os parâmetros adequados que possibilite uma menor distância linear das ombreiras;
- Realizar o estudo hidrológico associado (descarga de vazão, dimensionamento da bacia hidráulica, volume armazenado (útil e volume morto), precipitação, etc.) e hidráulicos (vertedouro e canal de descarga);
- Dimensionar e analisar a seção da barragem utilizando o software Geo Slop;
- Avaliar dados geotécnicos (sondagem, caracterização do solo, etc.);
- Apresentar as peças técnicas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Barragem

As barragens, construídas longitudinalmente aos rios, tem por função formar reservatórios para fins de geração de energia, fornecimento de água e também para acúmulos de rejeitos industriais. (AZEVEDO, 2008)

De acordo com Massad (2010) existem vários tipos de barragens em uso, barragem de concreto gravidade (concreto massa); barragem de concreto estrutural com contrafortes; barragem de concreto em arco de dupla curvatura; barragem de terra homogênea, barragem de terra – enrocamento, barragem de enrocamento com membrana de concreto e barragem em aterro hidráulico.

### 2.2 Barragens de concreto

#### 2.2.1 Barragem de concreto gravidade (concreto massa)

Este tipo de barragem usa o seu peso próprio para manter sua estabilidade. Entretanto, como existe empuxo hidrostático da água e subpressões que tendem a desestabilizá-la, é de suma importância a verificação da instabilidade da construção por meio dos princípios da estática (estabilidade quanto ao deslizamento e tombamento). É de praxe também, que a fundação desta estrutura seja em leito rochoso, devido à capacidade de este material suportar o peso da barragem. (MASSAD, 2010)

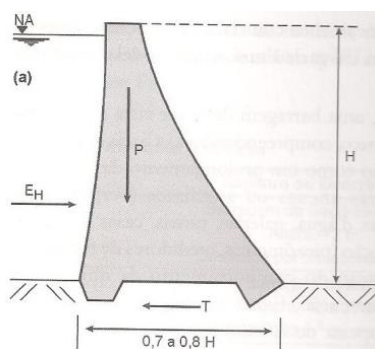


Figura 1 – Barragem de concreto gravidade. (Massad, 2010)

### 2.2.2 Barragem de concreto estrutural com contrafortes

Utilizando parte do peso da água juntamente com seu peso próprio, este tipo de estrutura permite uma estabilidade melhor quanto ao deslizamento. E devido a maior parte da barragem ser construída fora do maciço rochoso, existem benefícios também á subpressões. Uma das desvantagens desse tipo de barragem é o gasto com formas e armações, pois sua estrutura é de lajes ou abóbadas múltiplas apoiadas em contrafortes. (MASSAD, 2010).

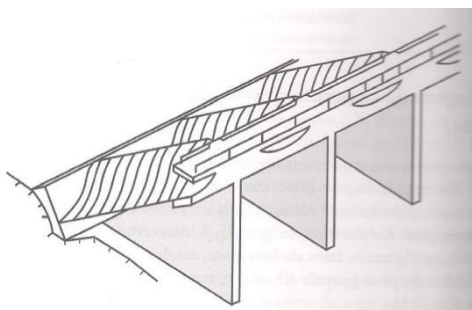


Figura 2 – Barragem de concreto estrutural com contrafortes (Massad,2010)

### 2.2.3 Barragem de concreto em arco de dupla curvatura

Com prioridade na fundação, este tipo de barragem só pode ser construída em vales fechados, e devido o seu formato estrutural o concreto trabalha em compressão. (MASSAD, 2010).

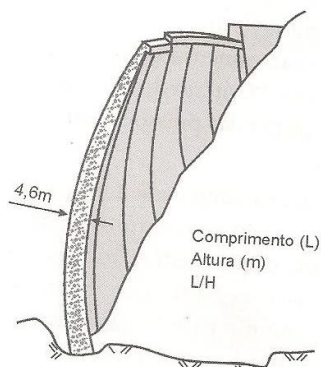


Figura 3 – Barragem de concreto em arco de dupla curvatura (Massad, 2010)



## 2.3 Barragens de terra

### 2.3.1 Barragem de terra homogênea

Pelo fato do material terroso ser predominante no território brasileiro e pelas condições topográficas serem favoráveis, as barragens de terras é as mais usuais no Brasil. (MASSAD, 2010).

A barragem de terra homogênea, como o próprio nome já diz, é construída geralmente utilizando um só tipo de material, por exemplo, a argila. Porém, existe ainda no corpo da barragem um filtro vertical (tipo “chaminé”) ou inclinado. Este filtro, composto de areia, permite filtrar a água que percola no interior da estrutura para um “tapete” drenante, que costuma ter mais de uma granulometria de material britado, em geral costuma ter transições. Com a não percolação da água ao longo de toda a estrutura do barramento, evita-se que a mesma acarrete material argiloso, impedindo assim problemas como o *piping* ou erosão regressiva tubular, e até mesmo, o colapso da estrutura. (MASSAD, 2010).

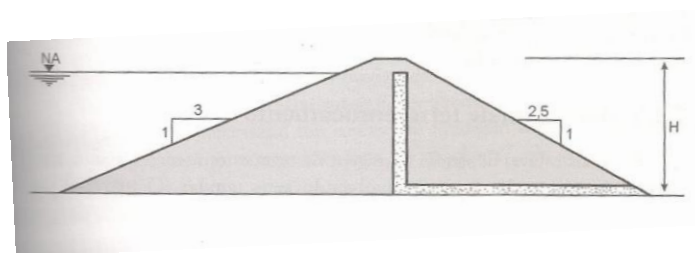


Figura 4 – Barragem de terra homogênea (Massad,2010)

### 2.3.2 Barragem de terra - enrocamento

Como o material do enrocamento (pedra) utilizado neste tipo de barragem apresenta um elevado ângulo de atrito, os relatos afirmam que este modelo de estrutura está entre as mais estáveis, ou seja, não há registros de ruptura

abrangendo as estruturas de taludes, tanto de montante quanto de jusante. (MASSAD, 2010).

Este tipo de barragem pode ser construída com dois tipos de núcleos, central ou inclinado. A diferença entre os dois tipos, além do posicionamento, é que o primeiro, apresentando um material com uma compressibilidade compatível com o do enrocamento, possui um maior controle de perdas d'água pela barragem. Já o inclinado, além de permitir a construção de grande parte do enrocamento de jusante, tem ainda por vantagem, a não transmissão de carga para as ombreiras da barragem. (MASSAD, 2010)

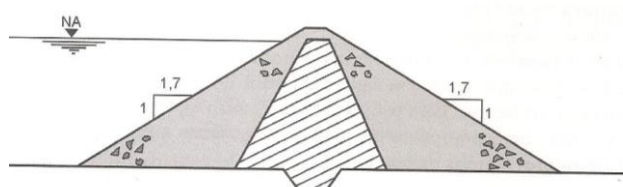


Figura 5 - Barragem de terra-enrocamento com núcleo central (Massad, 2010)

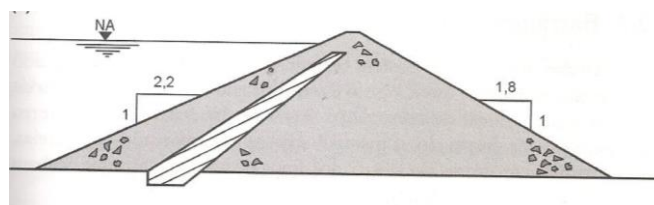


Figura 6 - Barragem de terra-enrocamento com núcleo inclinado para a montante (Massad, 2010)

### 2.3.3 Barragem de enrocamento com membrana de concreto

Este tipo de barragem faz a utilização de placas de concreto sobre os taludes de montante, onde estas são ligadas entre si por juntas especiais. (MASSAD, 2010).

Uma das vantagens deste tipo de estrutura está ligado ao seu processo construtivo, pois tanto o aterro quanto as placas de concreto podem ser construídas independentemente do clima. Entretanto é preciso atenção no talude de jusante quanto às intempéries. (MASSAD, 2010).

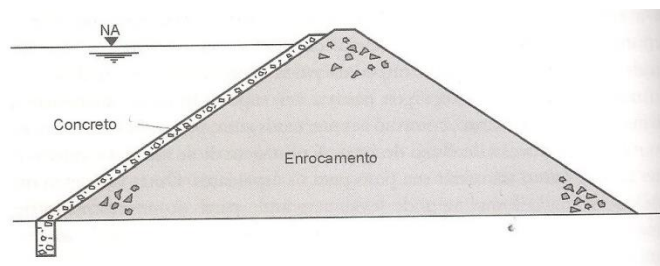


Figura 7 - Barragem de enrocamento com membrana de concreto (Massad, 2010).

#### 2.3.4 Barragem em aterro hidráulico

Neste tipo de barragem os materiais que constitui o aterro são transportados até o local de construção por meio de tubulações, usando como transporte a água. Esse método construtivo recebe o nome de processo hidráulico. (MASSAD, 2010).

A vantagem de se construir uma barragem em aterro hidráulico é o seu baixo custo, apesar do volume de solo utilizado na construção ser alto. (MASSAD, 2010).

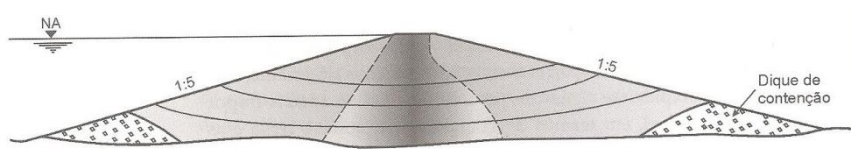


Figura 8 - Barragem em aterro hidráulico (Massad, 2010).

### **3. SOLOS**

Na Mecânica dos Solos, o significado de solo está ligado às finalidades da engenharia. (VARGAS, 1977)

Na engenharia civil, as maiorias das estruturas estão apoiadas sobre ou no interior da crosta terrestre, sendo os materiais que formam esta crosta, considerados num ponto de vista, materiais de construção, podendo ser solos ou rochas. (VARGAS, 1977)

O solo pode ser considerado como todo material da crosta terrestre escavável por meio de pá, picareta, escavadeira etc; sem a necessidade de explosivos. Já as

rochas são todo material que necessite de explosivos para seu desmonte. (VARGAS, 1977)

A NBR 6502/ 1995, em vigor. – “Rocha e Solos”, é uma referência quando se fala na definição de material da crosta terrestre, de solos e rochas para a área da engenharia geotécnica de fundações e obras de terra. (ABNT CATÁLOGO, 2015)

### 3.1 Classificações dos solos

Segundo Pinto (2000), devido uma grande diversidade e uma ampla variação de comportamentos, se tornou de interesse da engenharia, caracterizar os solos em alguns conjuntos distintos. Esta classificação permite prever o comportamento de um solo, bem como permitir orientações na análise de um problema.

Apesar das opiniões de defesa e crítica a respeito da validade do sistema de classificação do solo, é de suma importância que esta utilize índices numéricos, pois conforme apontado por Terzaghi (apud PINTO, 2000, p. 35) “um sistema de classificação sem índices numéricos para identificar os grupos é totalmente inútil”. (PINTO, 2000)

Segundo Caputo (1998), os dois principais sistemas de classificação dos solos, são: O sistema unificado de classificação e a classificação do H.R.B.

#### 3.1.1 Sistema Unificado de Classificação

Nos tempos atuais este sistema é utilizado por geotécnicos que exercem atividades em barragem de terra. (PINTO, 2000)

Este sistema faz o uso de letras para a identificação dos solos, como se vê na tabela:

G	pedregulho
S	areia
M	silte
C	argila
O	solo orgânico
W	bem graduado
P	mal graduado
H	alta compressibilidade
L	baixa compressibilidade
Pt	turfas

Quadro 1 – Terminologia do Sistema Unificado (Pinto, 2000).

As letras G, S, M, C e O indicam o tipo principal do solo. Já as demais, nomeiam dados complementares dele. (PINTO, 2000)

Falando-se de um modo em geral, este sistema classifica os solos em três grupos: solos grossos, considerados como aqueles grãos retidos pela peneira de 0,074mm; solos finos, grãos que passam pela malha da peneira 0,074mm, como por exemplo, os siltes e as argilas; e turfás, solos capazes de diminuir de volume sob compressão e são altamente orgânicos. (CAPUTO, 1988)

A classificação pode ser resumida no seguinte quadro:

SISTEMA UNIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS (U.S.C.) (RESUMO)		
Classificação geral	Tipos principais	Símbolos
SOLOS GROSSOS (Menos que 50% passando na # 200)	Pedregulhos ou solos pedregulhosos	<i>GW, GP, GM e GC</i>
	Areias ou solos arenosos	<i>SW, SP, SM e SC</i>
SOLOS FINOS (Mais que 50% passando na # 200)	Siltosos ou argilosos	Baixa compressibilidade ( $LL < 50$ ) <i>ML, CL e OL</i>
		Alta compressibilidade ( $LL > 50$ ) <i>MH, CH e OH</i>
SOLOS ALTAMENTE ORGÂNICOS	Turfás	<i>Pt</i>

Quadro 2 – Sistema unificado de classificação dos solos (S.U. C). (Caputo, 1998)

### 3.1.2 Sistema de Classificação do H. R. B.

Segundo Caputo (1988), este sistema classifica os solos de acordo com a granulometria e plasticidade do mesmo, donde são reunidos em grupos e subgrupos.

O Quadro três indica os tipos de materiais, sua identificação e classificação. (CAPUTO, 1988).

**SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DO H.R.B.**

Classificação Geral	Solos Granulares ( $P_{200} < 35\%$ )						Solos Silto-Argilosos ( $P_{200} > 35\%$ )				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5; A-7-6
$P_{10}$ $P_{40}$ $P_{200}$	<50 <30 <15	— <50 <25	— >50 <10	— — <35	— — <35	— — <35	— — <35	— — >35	— — >35	— — >35	— — >35
$LL$ $IP$	— <6	— <6	— $NP$	<40 <10	>40 <10	<40 >10	>40 >10	<40 <10	>40 <10	<40 >10	>40 >10
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	<4	<4	<8	<12	<16	<20
Tipos de material	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia		Areia fina	Pedregulhos e areias siltosas ou argilosas				Solos siltosos		Solos argilosos	
Classificação como subleito	Excelente a Bom						Regular a mau				

Quadro 3 – Sistema de Classificação do H. R. B (Caputo, 1998)

Os solos, segundo Pinto (2000), ainda podem ser classificados pela sua origem, que são os residuais e transportados, solos orgânicos e solos lateríticos.

### 3.1.3 Solos residuais

Os solos residuais são formados através da decomposição da rocha, e permanecem no lugar de origem, pois a ação de decomposição da rocha é maior que a remoção por agentes externos. (PINTO, 2000)

O Brasil é considerado uma das regiões favoráveis para a formação deste tipo de solo (residual), pois possui temperatura, regime de chuva e vegetações apropriadas. Fatores esses que influenciam diretamente na velocidade de decomposição da rocha. (PINTO, 2000)

#### 3.1.4 Solos transportados

Como o próprio nome já diz, são os solos que foram transportados do seu lugar de origem para outro lugar. Devido a este fator, a classificação de um solo transportado dependerá do seu agente transportador, como no caso dos aluviões ou aluvionares, que por serem solos resultantes do carreamento da água recebem esse nome. (PINTO, 2000)

#### 3.1.5 Solos orgânicos

Os solos orgânicos podem ser identificados pela cor e pelo seu odor característico. Geralmente são as argilas ou areias finas. Uma parte da composição deste solo é formada de matéria orgânica, geralmente de animais e vegetais em diferentes estágios de decomposição. (PINTO, 2000)

#### 3.1.6 Solo lateríticos

Com uma coloração avermelhada, devido à presença de ferro e alumínio na forma de óxidos e hidróxidos, os solos lateríticos possuem elevado índices de vazios, prejudicando com isso a sua capacidade de suportar carga. Entretanto quando compactado com uma quantidade certa de água ou humidade ótima, este ganha resistência aos esforços. Isso ocorre devido na perda de água, após compactado, este tipo de solo apresentar contração. (PINTO, 2000)

## 4. ELEMENTOS DE UMA BARRAGEM

Segundo Carvalho (2011), os principais elementos de uma barragem de terra são:

1. Crista;
2. Borda livre;
3. Talude de montante;
4. Proteção do talude de montante (rip-rap);
5. Talude de jusante;
6. Proteção do talude de jusante (grama ou outro elemento);
7. Trincheira de vedação;
8. Filtro vertical;
9. Filtro horizontal;
10. Dreno de pé;
11. Cortina de injeção;
12. Poço de alívio;
13. Tapete impermeável;
14. Sistema de drenagem das águas pluviais.

Além do mais, segundo Carvalho (2011), os extravasores ou sangradouros, ainda são elementos para um correto funcionamento da barragem de terra.

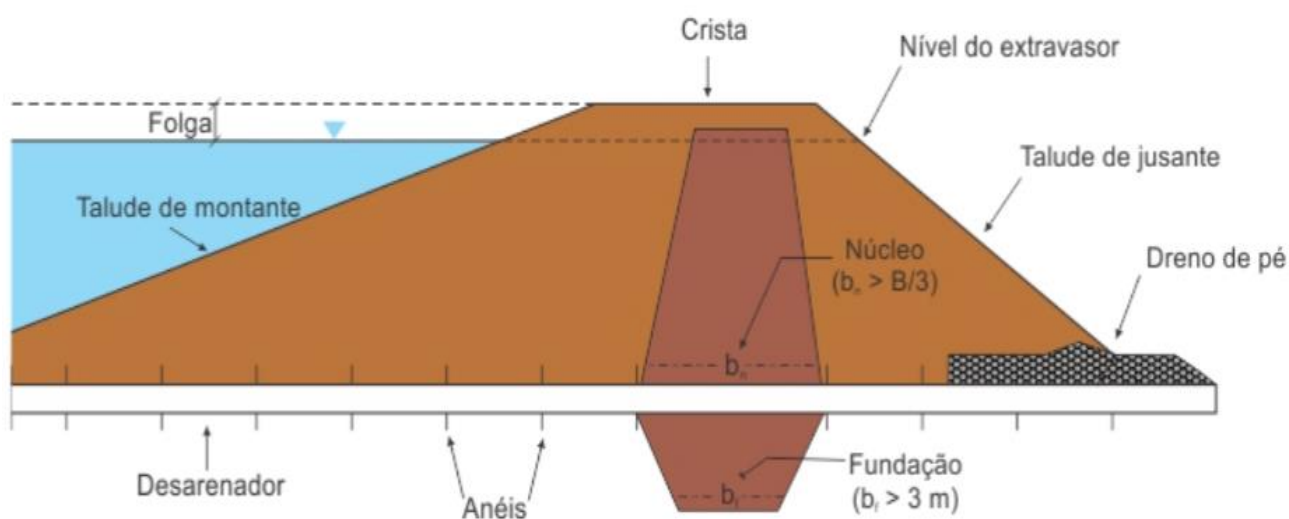


Figura 09 – Elementos de uma barragem de terra. (Atlas, 2011)



#### 4.1 Crista

A crista é a parte mais alta do maciço de terra, que geralmente está destinada a permitir o acesso de veículos que auxiliam na manutenção da barragem. Por esse motivo, a largura da crista está relacionada ao tipo de tráfego que ela está destinada. Entretanto, deve-se respeitar o valor mínimo de 3 m (três metros), para pequenas barragens de terra, e de 6 a 12m ( seis a doze metros) para barragens de grande porte. Já a altura da crista ou cota está diretamente ligada ao nível mais alto que a lâmina d'água pode chegar (NA) e com a altura da borda livre. A forma que define esta relação pode ser escrita da seguinte maneira: (CARVALHO, 2011)

$$\text{Cota da crista} = \text{NA máx. Max} + \text{borda livre} \quad \text{Eq. 01}$$

Uma estrutura fundamental que deve constar na crista da barragem de terra é o sistema de drenagem superficial, que pode ser composto por canaletas de drenagem ou por uma inclinação da própria crista com sentido para a montante. Este sistema é essencial para permitir um seguro escoamento da água das intempéries, ajudando assim, a prevenir erosões nos taludes. (CARVALHO, 2011)

Segundo Carvalho v.1. (1983) para o dimensionamento da crista ou coroamento de uma barragem de terra pode-se utilizar as seguintes fórmulas matemáticas:

U.S Bureau of Reclamaion

$$b = 3,63\sqrt[3]{H} - 1,5 \quad \text{Eq. 02}$$

T.T. Knappen

$$b = 1,65\sqrt{H} \quad \text{Eq. 03}$$

E.F. Preece

$$b = 1,1\sqrt{H} + 1 \quad \text{Eq. 04}$$

sendo:

H = altura máxima da barragem (m);

b = largura do coroamento ou crista (m).

## 4.2 Bordas livres

Com a finalidade de evitar o transbordamento da barragem por meio da ação das ondas formadas pela energia do vento na superfície do lago, se faz necessário a construção da folga da barragem ou borda livre. (CARVALHO v.1; 1983)

Para o cálculo do comprimento da folga, é de suma importância, segundo Carvalho (1983) analisar alguns aspectos, como:

- elevação do nível d'água durante as grandes cheias ou cheias máximas;
- efeito pendular
- superelevação das ondas pela ação dos ventos;
- ação das vagas; e
- subida das ondas no paramento.

### 4.2.1 Cheias máximas

Conhecida também como cheia de projeto, as cheias máximas segundo Carvalho (1983) é o volume máximo de água acreditado para um determinado tempo. Obtêm-se a cota máxima dessa cheia por meio de estudos hidrológicos.

### 4.2.2 Efeito pendular

De acordo com Carvalho v.1. (1983) O efeito pendular se resume em um movimento das águas paradas semelhante à de um pêndulo de relógio. Este efeito

pode ser causado pela ação do vento, variação atmosférica, terremotos ou descargas afluentes ou efluentes irregulares no lago.

#### 4.2.3 Superelevação das ondas pela ação dos ventos

Este fenômeno, de acordo com Carvalho v.1 (1983), são ondas de elevações maiores que as decorrentes da ação das vagas. Esse fato ocorre devido a fortes rajadas de ventos que sopram em uma só direção.

Esta superelevação pode ser determinada, segundo Carvalho v.1. (1983), pela fórmula de Zuider Zee.

$$hv = \frac{V^2 L \cos\alpha}{K d} \quad \text{Eq. 05}$$

sendo:

hv = superelevação (m);

V = velocidade dos ventos (m/s);

L = “ fetch” (Km);

$\alpha$  = ângulo dos ventos com fetch;

K = constante = 62.000;

d = profundidade média do lago (m).

#### 4.2.4 Ação das vagas

Conforme Carvalho v.1. (1983), as vagas são geradas a partir de uma movimentação de massa de água provocada pela energia que os ventos transferem

na superfície do lago.

É preciso que se tenha atenção no comportamento dessas vagas em barragens de terra, pois elas não devem atingir o coroamento ou crista. Carvalho v.1. (1983)

Carvalho v.1. (1983) afirma que o cálculo da altura da borda livre pode ser calculado pela expressão empírica:

$$F = 0,75 h_o + \frac{V_o^2}{2g} \quad \text{Eq. 06}$$

sendo:

$F$  = folga (m);

$H_o$  = altura das ondas (m);

$V_o$  = velocidade das vagas (m/s);

$g$  = aceleração da gravidade ( $m/s^2$ );

#### 4.2.5 Cálculo da altura das ondas

Para o cálculo da altura das ondas usa-se também uma fórmula empírica de Stevenson e Molitor, que está em função do “fetch” ( $L$ ), que segundo Carvalho v.1. (1983) é a “distância máxima entre um ponto qualquer sobre a barragem e um extremo do lago, medida sobre as águas”.

A fórmula de Stevenson é:

$$\text{Para } L < 18 \text{ km} \rightarrow h_o = 0,75 + 0,34\sqrt{L} - 0,26^4\sqrt{L} \quad \text{Eq. 07}$$

$$\text{Para } L > 18 \text{ km} \rightarrow h_o = 0,34\sqrt{L} \quad \text{Eq. 08}$$

sendo:

$h_o$  = altura das vagas (m);

L = "fetch" (Km).

Fórmula de Molitor:

$$\text{Para } L < 30 \text{ km} \rightarrow h_o = 0,75 + 0,032\sqrt{LV} - 0,27^4\sqrt{LV} \quad \text{Eq. 09}$$

$$\text{Para } L > 30 \text{ km} \rightarrow h_o = 0,032\sqrt{LV} \quad \text{Eq. 10}$$

sendo:

$h_o$  = altura da onda (m);

L = fetch (Km);

V = velocidade dos ventos (Km/h).

Para valores pequenos de V a fórmula de Molitor não se aplica, sendo que para  $V=0$  tem-se  $H=0,75\text{m}$ . (CARVALHO v. 1; 1983)

#### 4.2.6 Cálculo da velocidade das vagas ( $v_o$ )

Segundo Carvalho v.1. (1983) o cálculo da velocidade das vagas é dado pela fórmula de Gaillard.

Fórmula de Gaillard:

$$V_o = 1,5 + 2h_o \quad \text{Eq. 11}$$

sendo:

$V_o$  = velocidade das vagas (m/s) medida a 10 cm acima da superfície;

$h_o$  = altura das vagas (m).

## 4.3 Taludes

### 4.3.1 Talude de montante

O talude de montante é a estrutura inclinada e paralela ao eixo da barragem onde se encontra em contato direto com a água do reservatório. Este deve possuir inclinação maior do que o talude de jusante, com o intuito de proporcionar uma maior estabilidade ao aterro, onde o valor desta (inclinação), segundo Atlas (2011) poderá ser de 1:2,5 (Vertical : Horizontal).Entretanto vai depender de projeto para projeto.

### 4.3.2 Proteção do talude de montante

A proteção do talude de montante é importante para manter a integridade física da estrutura para que se evite o rompimento da mesma. Sem esta, a ação das ondas formadas no reservatório, das intempéries, e a água provinda da crista provocariam erosões ou vórtices no talude. (CARVALHO, 2011)

Segundo Carvalho (2011), pode-se fazer a proteção do talude de montante utilizando rocha, concreto, solo cimento e pedras rejuntadas. Os três últimos são mais utilizados quando o volume de rocha disponível é pequeno.

Quando se utiliza a rocha para fazer a proteção, o nome comumente chamado desta, de acordo com o Carvalho (2011), é de “rip-rap”.

O “rip-rap” nada mais é do que rochas que podem ser arrumadas ou lançadas na superfície do talude. Entretanto, independente de serem lançadas ou arrumadas, as rochas possuem uma granulometria que ajuda a resistir ao carreamento pela água. (CARVALHO, 2011).

A proteção do talude de montante utilizando rocha deve ultrapassar, segundo Carvalho (2011), 1 m (um metro) abaixo do nível de operação do reservatório.

#### 4.3.4 Talude de jusante

O talude de jusante além de não estar em contato com a água do reservatório, ele ainda possui um grau de inclinação menor do que o de montante, podendo ser, de acordo com Atlas (2011) de 2:1 (Horizontal: Vertical). Entretanto vai depender de projeto para projeto.

#### 4.3.5 Proteção do talude de jusante

A proteção do talude de jusante pode ser feita com gramas que não tenham raízes profundas ou com enrocamento. Deve-se ainda, fazer uma estrutura de drenagem, podendo ser por meio de canaletas ou alguma outra estrutura que permita uma vazão que escoe uma quantidade máxima de água prevista pelos estudos meteorológicos da região. (CARVALHO, 2011)

Não é recomendado plantar árvores ou qualquer outro tipo de planta com raízes profundas, pois estas podem facilitar a entrada de água para dentro do talude e vim a causar uma erosão interna, podendo ocasionando com isso o colapso da estrutura. (CARVALHO, 2011).

#### 4.3.6 Dimensionamento das inclinações de taludes

O dimensionamento das inclinações dos taludes será feita com o software GeoStudio 2007, aonde será necessário alimentar o programa com as coordenadas dos taludes da barragem de terra e as características geotécnicas do solo que compõe a estrutura.

Algumas características geotécnicas do solo obtidas por meio de ensaios de cisalhamento podem ser vistas no Quadro 4. (GUIDICINI e NIEBLE, 1983)

PROPRIEDADES TÍPICAS DE SOLOS E ROCHAS							
TIPO	MATERIAL	PESO ESPECÍFICO	ÂNGULO DE ATRITO		COESÃO		
		g/cm <sup>3</sup>	MATERIAL	GRAU			
MÁCOESIVO	AREIA	Grossa seca	1,44	Compacto, bem graduado, uniforme	40-45		
		Fina seca	1,60				
		Úmida	1,84				
	PEDRE-GULHO	Muito úmida	1,92	Uniforme, gráuda, areia fina ou solta	35-40		
		Comum misto	1,76	Areia solta, bem graduada	35-40		
		Fluvial	2,24	Areia fina seca	30-35		
	ROCHA SOLTA	Solto	1,84	Comum misto	35-40		
		Arenoso	1,92	Pedregulho	40		
		Granito	1,60	Compacto arenoso	40-45		
		Basalto e dolerito	2,00	Solto arenoso	35-40		
		Calcário e arenito	1,76	Pedra britada ou em fragmentos	35-45		
		Giz	1,28	Giz fragmentado	30-35		
Folhelho		1,60	Folhelho fragmentado	30-35			
COESIVO	ARGILA	Saca	1,76	Bloco de argila seca	30	Bloco de argila muito rijo	1,76
		Úmida	1,84	Bloco de argila úmida	40		
		Molhada	1,92	Argila rija	10-20	Argilito rijo	1,50
		Marga arenosa	1,60	Argila mole	5-7	Argila rija	1,00
		Marga	1,76	Preenchimento argiloso	10-20	Argila média	0,50
		Com pedregulho	2,00	Material calcítico de zona de cisalhamento	20-27		
	COBERTURA	Solo superficial	1,36	Material de falha em folhelho	14-22		
		Solo seco	1,44	Solo de cobertura	30-35	Solo de cobertura	0,05
		Solo úmido	1,60				0,50
		Solo molhado	1,68				
MÁCIÇO ROCHOSO	Granito	2,61	Granito	30-50	Maçico rochoso de rochas duras (granito, pórfiro etc)	1,00	
	Quartzito	2,61	Quartzito	30-45		3,00	
	Arenito	1,95	Arenito	30-45	Maçico de arenito ou calcário	0,50	
	Calcário	3,17	Calcário	30-50	calcário	1,50	
	Pórfiro	2,58	Pórfiro	30-40	Maçico de folhelho ou rochas brandas	0,25	
	Folhelho	2,40	Folhelho	27-45		1,00	
	Giz	1,76	Giz	30-40			

Quadro 4 – Valores típicos de ângulo de atrito e coesão obtidos a partir de ensaios de cisalhamento em diversos tipos de rochas e solo (Hoek e Bray,308) (Guidicini e Nieble, 1983)

#### 4.4 Trincheiras de vedação

A trincheira de vedação ou *cut off*, é uma estrutura feita para barrar a passagem de água que tende a infiltrar pela fundação do aterro. Para se construir essa estrutura é necessário que se faça uma escavação no solo de fundação, e logo em seguida, fazer o preenchimento desta vala com solo compactado. (MASSAD, 2010)

Caso a permeabilidade do subsolo aumente com a profundidade, não é recomendado que se use trincheira de vedação. (MASSAD, 2010)

#### 4.5 Filtro

Criado por Terzaghi, o filtro que é constituído por um material de transição, foi inventado com o intuito de evitar que a água percole na barragem pelo talude de montante e chegue à face do talude de jusante, evitando assim a possibilidade de



ocorrência do piping . E outra função dos filtros é ajudar na dissipação das pressões neutras nos taludes, tanto de montante quanto de jusante. (MASSAD, 2010)

#### 4.5.1 Filtro vertical

O filtro vertical, segundo Carvalho (2011), foi utilizado pela primeira vez no Brasil na barragem do Vigário em 1948, e é considerado uma evolução no sistema de drenagem de barragens de terra.

O dreno vertical é construído no eixo da barragem utilizando geralmente como material principal a areia grossa. (CARVALHO, 2011)

#### 4.5.2 Filtro horizontal

De acordo com Cruz (1996), o filtro horizontal, tem como uma de suas funções, escoar a água que percola pela barragem. Entretanto, o seu principal objetivo é controlar o fluxo de água pela fundação.

Ele deve ser construído por toda a fundação e ombreiras da barragem. (CRUZ, 1996)

Para que o filtro horizontal tenha uma capacidade de descarga, segundo Massad (2010), é necessário utilizar materiais com elevados valores de permeabilidade, fazendo assim uma espécie de “sanduíche”.

#### 4.5.3 Dimensionamento dos filtros

Segundo Massad (2010), para o dimensionamento dos filtros, é preciso ter conhecimento da vazão a ser captada pelos filtros, o traçado de rede de fluxos, o coeficiente de permeabilidade da barragem de terra, dos materiais de fundação e dos próprios filtros.

Com a permeabilidade ( $K_{fv}$ ) dos materiais utilizados em cada filtro é possível calcular as suas espessuras ( $b$ ) baseando-se na Lei de Darcy, ou na Equação de Dupuit. (MASSAD, 2010)

Para filtro vertical, pela Lei de Darcy:

$$Q = k_{fv} * b$$

Portanto:

$$b = \frac{Q}{k_{fv}}$$

Eq. 12

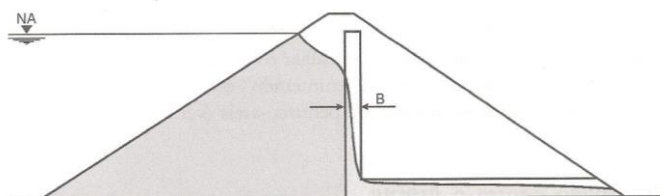


Figura 10 – Filtro vertical (Massad,2010)

Para filtro horizontal, pela Lei de Darcy:

$$B = \sqrt{\frac{2 * Q * L}{k_{fv}}}$$

Eq. 13

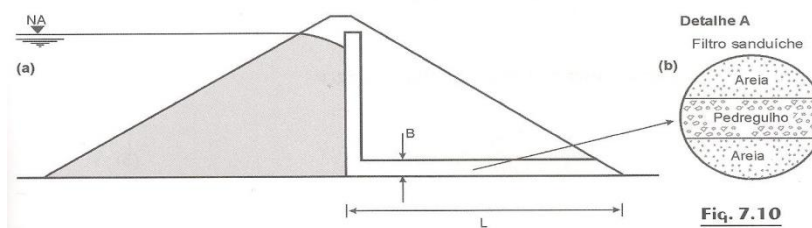


Fig. 7.10

Figura 11 – Filtro horizontal tipo “sanduíche” (Massad, 2010)

Admite-se 1 (um) para o gradiente ( $i$ ) no filtro vertical, devido o fluxo d`água ser praticamente vertical.  $Q$  é a vazão captada pelo filtro;  $k_{fv}$  o coeficiente de permeabilidade do material do filtro e  $L$  o comprimento do filtro horizontal. (MASSAD, 2010)

De acordo com Cruz (1996), a vazão é dada em l/min (litros por minuto) o coeficiente de permeabilidade em cm/s (centímetros por segundo), a área em  $m^2$  (metro quadrado), o coeficiente ( $i$ ) admissível e o  $L$  em m (metros).

#### 4.6 Drenos de pé

Localizado no pé do talude de jusante, o dreno de pé recebe toda água captada pelo filtro vertical e pelo filtro horizontal, e a conduz de volta ao rio, na jusante. É construído com material de transição que permita o escoamento da água sem ter o carreamento de material do aterro. (CARVALHO, 2011)

Carvalho (2011) recomenda que a altura do dreno de pé seja duas vezes maior do que a altura do filtro horizontal e a largura mínima da crista de 4,0m (quatro metros) de altura.

#### 4.7 Cortinas de injeção

A cortina de injeção consiste em fazer um tratamento com injeção sob pressão de nata de concreto ou outro tipo de material impermeabilizante, em furos feitos nas fissuras apresentadas nos maciços rochoso da fundação da barragem. Com esta injeção procura-se proporcionar uma perda hidrostática e uma diminuição da percolação da água. Entretanto, como não é possível preencher todos as fissuras da rocha , a cortina de injeção não deve ser considerada totalmente estanque. (CARVALHO, 2011)

#### 4.8 Poço de alívio

São poços abertos na parte central da fundação do aterro ou na jusante da estrutura que possibilitam o controle da água provinda de infiltração. Esse poço é preenchido com um material que possui um índice de permeabilidade maior do que o da fundação. Esta estrutura não tolera que a água saia verticalmente de forma ascendente para o pé do talude de jusante, evitando o fenômeno da areia movediça.

Ela pode ser construída também na jusante, utilizando os mesmos procedimentos construtivos e materiais. (MASSAD, 2010)

#### 4.9 Tapetes impermeáveis á montante

Construído com o mesmo material e técnicas construtivas da barragem de terra, o tapete impermeável á montante permite reduzir o gradiente hidráulico por meio da fundação, basicamente por aumentar a distância que a água tem que percorrer. (CARVALHO, 2011)

#### 4.10 Sistemas de drenagem das águas pluviais

As águas das chuvas ou pluviais podem ser drenadas por canaletas de concreto, localizadas na montante das intercalações de bermas no talude de jusante. Essas intercalações nada mais são do que uma subdivisão do talude em trechos com alturas inferiores a 10 m (dez metros) de altura, ondem possuem uma inclinação com sentido para a jusante que possibilita o escoamento das águas pluviais para canaletas de concreto, que com inclinação de 0,5% direcionam a água para caixas de passagens até sair no pé da barragem, na jusante. (CARVALHO, 2011)

#### 4.11 Sangradouros ou extravasor

O sangradouro ou extravasor, segundo Carvalho v. 4 (1996), é um dos elementos essenciais de uma barragem, pois ele é quem permite a passagem do excesso de água afluente.

Em barragens de terra o tipo de sistema extravasor mais recomendado é um canal lateral construído fora do aterro, em terreno firme em uma das laterais do maciço, com fundo situado em cota mais elevada em relação ao leito natural do rio, e de uma estrutura de dissipação de energia de modo a conduzir a água excedente até o encontro com o curso d'água mais a jusante. (Atlas, 2011, p.10)

De acordo com Atlas (2011), para o dimensionamento do extravasor em canal lateral é preciso levar em consideração dois fatores básicos, “a descarga máxima prevista para extravasamento e as características do material natural do local onde se pretende construir o canal extravasor.”.

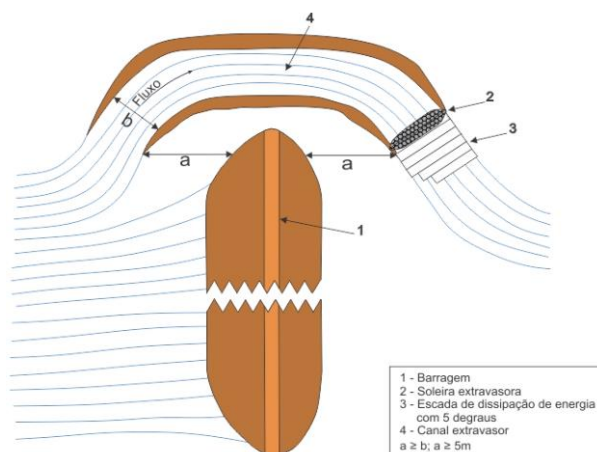


Figura 12 – Extravasor em canal lateral (Atlas, 2011)

Para o dimensionamento da descarga máxima de extravasamento, segundo Pereira (1986), pode-se utilizar a fórmula de Burkli-Ziegler.

Fórmula de Burkli - Ziegler:

$$Q = 0,022 * S * h * K * \sqrt[4]{\frac{i}{S}} \quad \text{Eq. 14}$$

sendo:

Q = descarga máxima de extravasamento (m<sup>3</sup>/s);

S = área da bacia hidrográfica (hec.);

h = precipitação máxima (cm/h);

i = declividade do canal (m/m);

K ou C = coeficiente de escoamento superficial.

Segundo Atlas (2011), para cada tipo de material que compõe ou que é feito o canal tem-se um valor limite de velocidade. O quadro 4 mostra os seguintes valores.

<b>Tipo de canal</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>
Canal em areia muito fina	0,20 - 0,30
Canal em areia grossa pouco compactada	0,30 - 0,50
Canal em terreno arenoso comum	0,60 - 0,80
Canal em terreno silico-arenoso	0,70 - 0,80
Canal em terreno argiloso compactado	0,80 - 1,20
Canal gramado	1,00 - 1,50
Canal em rocha	2,00 - 4,00
Canal de concreto	4,00 - 10,00

Quadro 5 – Velocidades limites em função do material das paredes do canal (Atlas, 2011)

Com os resultados da vazão máxima de cheia, inclinação dos taludes, velocidade limite recomendada, altura do canal e da declividade, pode-se obter então o valor da largura da base do canal. (ATLAS, 2011)

## 5. ENSAIOS DE CISALHAMENTO DE TALUDES

A capacidade do solo em resistir e manter sua estabilidade quando submetido a carregamentos está ligado à resistência ao cisalhamento, pois segundo Caputo (1988) “toda massa de solo se rompe quando esta resistência é excedida”.

Podemos relacionar esta resistência a duas propriedades, o atrito e a coesão. (CAPUTO, 1998)

### 5.1 Atrito

De acordo com Albuquerque (2003) o atrito está diretamente ligado a força normal  $N$ , também conhecida como carregamento vertical, da força tangencial  $T$  ou força horizontal e do coeficiente de atrito  $f$  entre dois corpos. A relação entre essas forças tendem a provocar um deslizamento de um corpo em uma superfície plana, onde, quanto maior for a parcela do carregamento  $N$ , maior será o atrito.

A forma que define a relação entre as duas forças pode ser escrita da seguinte forma:

$$T = N * tg\varphi$$

sendo:

$\varphi$  é o ângulo de atrito formado pela resultante das duas forças com a normal. (ALBUQUERQUE, 2003)

### 5.2 Coesão

É uma atração química entre as partículas, que gera como consequência, uma resistência no solo, tornando-se independente da tensão normal atuante no plano. (ALBUQUERQUE, 2003)

A resistência ao cisalhamento, segundo o Manual de geotecnia (1991), pode ser representada por uma curva (Fig.14), onde a resistência está em função de tensão normal.

$$S = C + \vartheta * tg\varphi$$

sendo:

$c$  = coesão;

$\varphi$  = ângulo de atrito e

$\vartheta$  = tensão normal efetiva atuante no plano considerado.

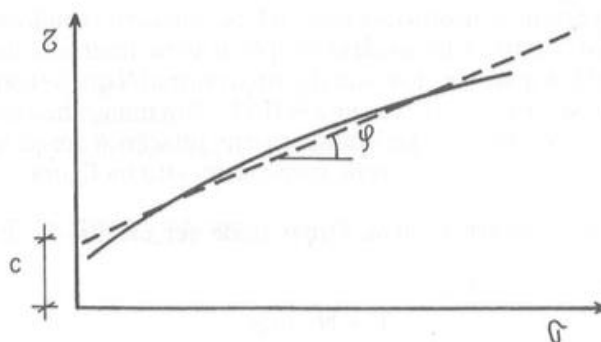


Figura 13 – Envoltória de resistência (Manual 1991)

### 5.3 Ensaios para a determinação da resistência de taludes

De acordo com Pinto (2000), é comumente empregado o ensaio de cisalhamento direto e o de compressão triaxial para a obtenção da resistência ao cisalhamento dos solos.

### 5.4 – Ensaios de cisalhamento direto

O ensaio de cisalhamento direto consiste, segundo GEOTECNIA (1991), em colocar um corpo de prova em uma caixa de cisalhamento (Fig. 14), aonde esta é dividida em duas partes, a superior ou anel e a inferior.



O ensaio consiste em colocar uma amostra nas duas partes da caixa e depois submetê-la a um carregamento vertical ( $N$ ) e horizontal ( $T$ ). A força normal será aplicada logo de início na parte superior da caixa e logo em seguida aplica-se a tangencial no anel. (GEOTECNIA, 1991)

Para cada valor da tensão normal aplica, tem-se uma variação do deslocamento horizontal provocado pela força tangencial. E com essa relação, é que se obtém a máxima tenção cisalhante. (GEOTECNIA, 1991)

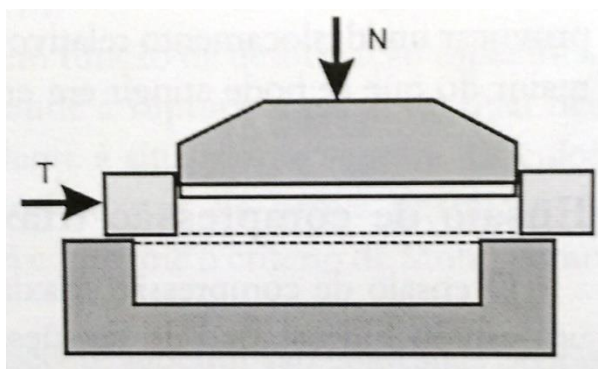


Figura 14 – Caixa de cisalhamento (Pinto, 2000)

### 5.5 Ensaio de compressão triaxial

Segundo, Pinto (1988), “Este ensaio é teoricamente mais perfeito que o de cisalhamento direto e, atualmente, o mais usado”.

Este tipo de ensaio é realizado em um aparelho que possui uma câmara cilíndrica (Fig. 15) transparente e um pistão na parte central aonde é colocada a amostra. O procedimento de ensaio, falando-se de uma maneira resumida, consiste em envolver a amostra em uma membrana de borracha delgada, colocá-la no centro do aparelho, encher o mesmo com água e aplicar o carregamento na amostra por meio do pistão, na base superior do cilindro. (PINTO, 1988)

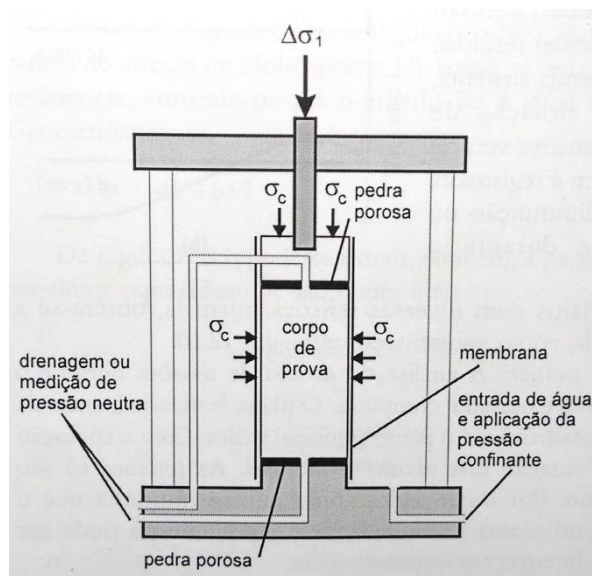


Figura 15 – Esquema da câmara de ensaio triaxial (Pinto, 2000)

Os círculos de Mohr (Fig.16), representa os valores dos pares de tensão  $(\vartheta_1, \vartheta_3)$  obtidas na ruptura das amostras ensaiadas. E passando-se a reta de Coulumb tangenciando as envoltórias dos círculos, encontra-se o ângulo de atrito  $\varphi$  e a coesão  $c$ . (PINTO, 1988)

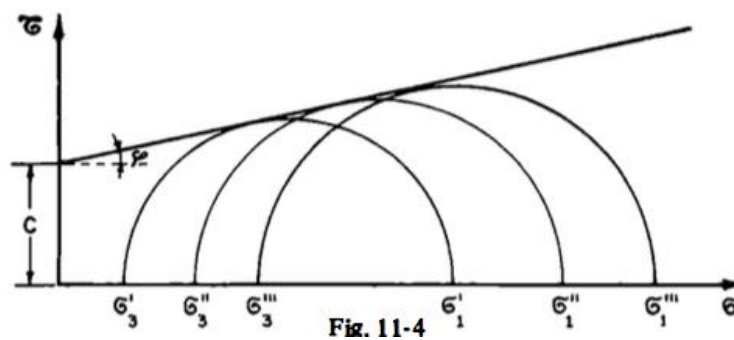


Figura 16 – Círculos de Mohr (Pinto, 1988)

## 6. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

O estudo do ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica nos permite determinar as vazões máximas, médias, mínimas nas seções fluviais dos cursos d'água, da vazão máxima de cheia e o volume de armazenamento necessário para a regularização de uma definida vazão em uma bacia hidrográfica. (ATLAS, 2011)

Já Righetto (1998), afirma que se tomando uma bacia hidrográfica como estudo principal, os componentes mais importantes do ciclo hidrológico que devem ser levados em conta são: a evapotranspiração, a precipitação, o escoamento superficial, a infiltração e a percolação profunda, etc.

Qualquer sistema hidrológico pode ser analisado pelos insumos ou entradas de águas (vazões,  $Q_a$ , ou volumes afluentes,  $V_a$ ) e pelas saídas de água (vazões,  $Q_e$ , ou volumes efluentes,  $V_e$ ) através de algum processo físico determinístico ou probabilístico, expresso matematicamente por uma ou mais funções de transferência,  $\mathfrak{F}$ . De acordo com Righetto (1998, p. 5)

Para os estudos hidrológicos será utilizado o software Pluvio 2.1, utilizando ainda para auxiliar na obtenção dos dados o software ArcGis.

### 6.1 Precipitação

Segundo Tucci (2000) toda água proveniente da atmosfera, seja ela na forma de chuva, neblina, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve é considerado pela hidrologia como precipitação. Entretanto a chuva é a forma de precipitação mais importante para a hidrologia, pois ela tem a capacidade de produzir escoamento.

Para bacias hidrográficas, segundo Tucci (2000), o conhecimento da intensidade, do total, da duração e da distribuição temporal e espacial da precipitação é muito importante, pois possibilita o controle de inundação e das erosões de solos.

A relação que define a intensidade da precipitação é:

$$i = \frac{K * T^a}{(t+b)^c} \quad \text{Eq.15}$$

sendo:

$i$  = intensidade máxima média de precipitação (mm/h);

$T$  = tempo de retorno em anos;

$t$  = duração da chuva em minutos;

$K, a, b, c$ : constantes.

## 6.2 Tempo de concentração

O tempo concentração é o tempo que a chuva precipitada no ponto mais distante da bacia leva para chegar ao exutório ou seção principal. (TUCCI, 2000)

Para obter o tempo de concentração podem-se utilizar diferentes métodos, como por exemplo, o Método de Dooge, Método Cinemático, Método de Arnell, Método de Kirpich, Método Califórnia Culverts Practice (E.U.A.), Método da Federal Aviation Agency (E.U.A.), Método de Bransby-Willians, Método da Onda Cinemática, Método da Lag Fórmula do Soil Conservation Service (SCS), Método de Johnstone, entre outros. O que difere um método do outro são as especificações quanto a área da bacia hidrográfica. (SANTOS, 2010)

- Método de Johnstone.

$$t_c = 20,17 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,5} \quad \text{Eq.16}$$

sendo:

$t_c$  = é o tempo de concentração, em min;

$S$  = a declividade do talvegue, em m/m;

e  $L$  comprimento do talvegue, em km.

## 6.3 Vazão máxima de projeto

Tucci (2000) afirma que, “a vazão máxima de um rio é entendida como sendo o valor associado a um risco de ser igualado ou ultrapassado. ”

Um dos métodos mais utilizados para a determinação da vazão máxima de projeto, segundo Santos (2010) é o racional e o racional modificado.

Segundo Tucci (2000), o método racional é mais utilizado para bacias com áreas menores ou iguais a 2 Km<sup>2</sup>. Já o segundo método citado é mais usual para bacias maiores.

A fórmula para calcular a vazão máxima de projeto utilizando o método racional modificado é:

$$Q = \frac{c \cdot I \cdot A^D}{3,6} \quad \text{Eq.17}$$

sendo:

Q = é a vazão em (m<sup>3</sup>/s),

C = o coeficiente de escoamento superficial,

I = a intensidade pluviométrica em (mm/h);

A = área da bacia de drenagem (hec)

e D um coeficiente redutor, igual a 1,0 para áreas até 0,5 km<sup>2</sup> e igual a 0,9 para áreas maiores que este valor.

Tipo de área	C'
<b>1 Topografia</b>	
terreno plano, declividade de 0,2-0,6 m/km	0,30
terreno, declividade de 3 - 4 m/km	0,20
morros, declividade de 30 - 50 m/km	0,10
<b>2 Solos</b>	
argila impermeável	0,10
permeabilidade média	0,20
arenoso	0,40
<b>3 Cobertura</b>	
áreas cultivadas	0,10
árvore	0,20

Quadro 6 – Coeficiente de escoamento superficial para áreas rurais (Tucci, 2000)

#### 6.4 Declividade do rio principal ou da bacia hidrográfica

A declividade está relacionada à diferença entre a cota de início da drenagem com a cota final da drenagem ou ponto de estudo em função do comprimento do talvegue.

$$S = \frac{H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}}{L} \quad \text{Eq.18}$$

sendo:

S = declividade em (m/Km)

L = comprimento do rio principal ou talvegue em Km,

H<sub>máx.</sub> = cota máxima em (m);

H<sub>mín.</sub> = cota mínima em (m).

## 7. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foi necessário determinar os aspectos hidrológicos, geotécnicos e os elementos da barragem, além de um ponto para estudo. O ponto em questão pode ser visualizado por meio da imagem (Figura 17) de satélite do Landsat 8 – 2014 de precisão de 15 m, observando que o ponto escolhido é o Rio Providência situado no município de Miracema – TO, nas proximidades do Rio Tocantins.

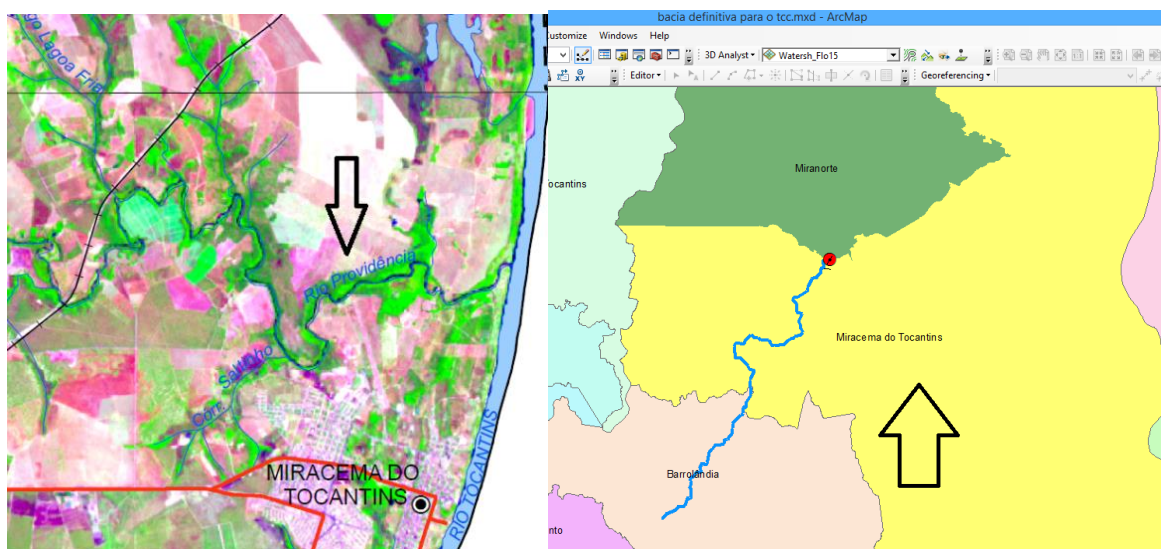


Figura 17 – Localização do Rio Providência  
Fonte: ADAPTADO PELO AUTOR

### 7.1 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

#### 7.1.2 Apresentação da bacia hidrográfica e suas características

Para obtenção das características da bacia hidrográfica como a área, o perímetro, a declividade, o comprimento do rio principal e a localização do ponto da barragem foi utilizado o software ArcGis. Sendo necessário utilizar a carta SC-22-X-D em formato SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), obtida pelo endereço eletrônico [http:// www.relevobr.cnpem.embrapa.br/download/to/to.htm](http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/download/to/to.htm) para empregar

nela as análises para a obtenção desses dados. Utilizaram-se ainda as bases de dados do estado do Tocantins, que podem ser encontrados no site [www.seplan.to.gov.br](http://www.seplan.to.gov.br).

O produto obtido, juntamente com a representação gráfica da bacia em estudo, pode ser visto na Figura 18.

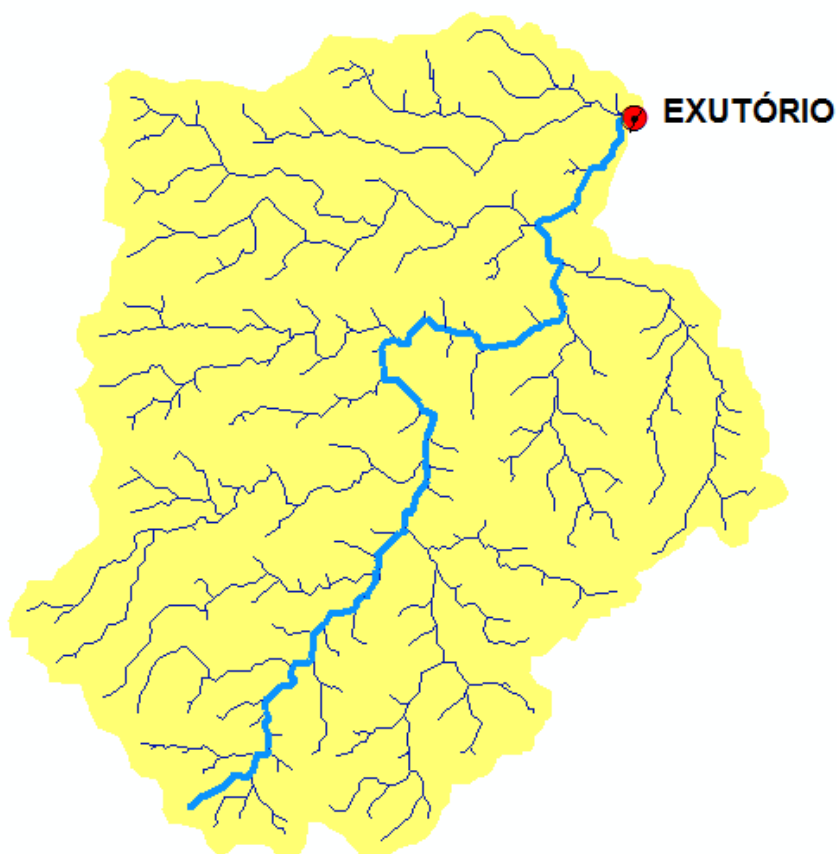


Figura 18 – Bacia delimitada utilizando o ArcGis  
Fonte: AUTOR

- Área da bacia hidrográfica 625,421 Km<sup>2</sup>
- Perímetro da bacia hidrográfica: 120,074 Km
- Comprimento do talvegue: 44,711 Km
- Cota mínima: 235 m
- Cota máxima: 490 m



### 7.1.3 Precipitações da região em estudo

Para a precipitação da bacia hidrográfica em estudo foi necessário encontrar por meio do programa Plúvio 2.1 os valores das constantes K, a, b e c, que compõem a Eq. 15, da intensidade. Os resultados obtidos das constantes para a região de Miracema do Tocantins foram:

- $K = 5958,095$
- $a = 0,173$
- $b = 35,298$
- $c = 1,043$

Na Figura 19, é representado uma tela de operação do programa Plúvio 2.1, onde está marcado o estado e a região em estudo.

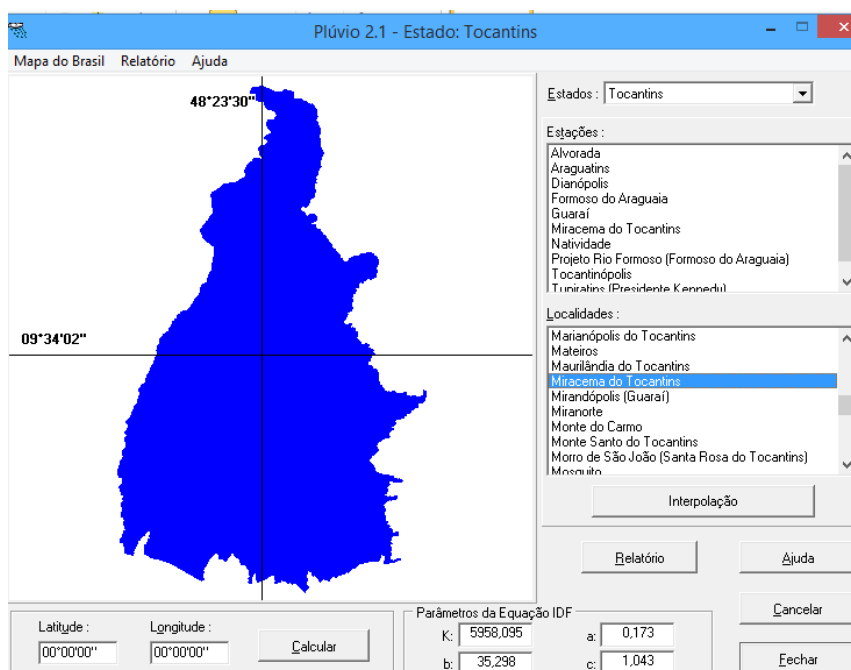


Figura 19 – Obtenção das constantes K,a,b,c por meio do software Plúvio 2.1

#### 7.1.4 Características do solo da bacia

Para a caracterização do solo e da vegetação dentro da bacia em estudo, foi necessário extrair o mapa da dinâmica da cobertura e uso da terra do Tocantins pelo site [www.seplan.to.gov.br](http://www.seplan.to.gov.br). Neste foi possível obter a delimitação de regiões com os diferentes tipos de ocupação do solo. Esses fatores são determinantes no escoamento superficial e na evapotranspiração, pois dependendo das características dos tipos de vegetações presentes na bacia pode-se determinar o quanto se perde do volume de escoamento. No caso da bacia em estudo observa-se, segundo o mapa apresentado na Figura 20 e 21, que a vegetação predominante é a pastagem para o uso da agropecuária.

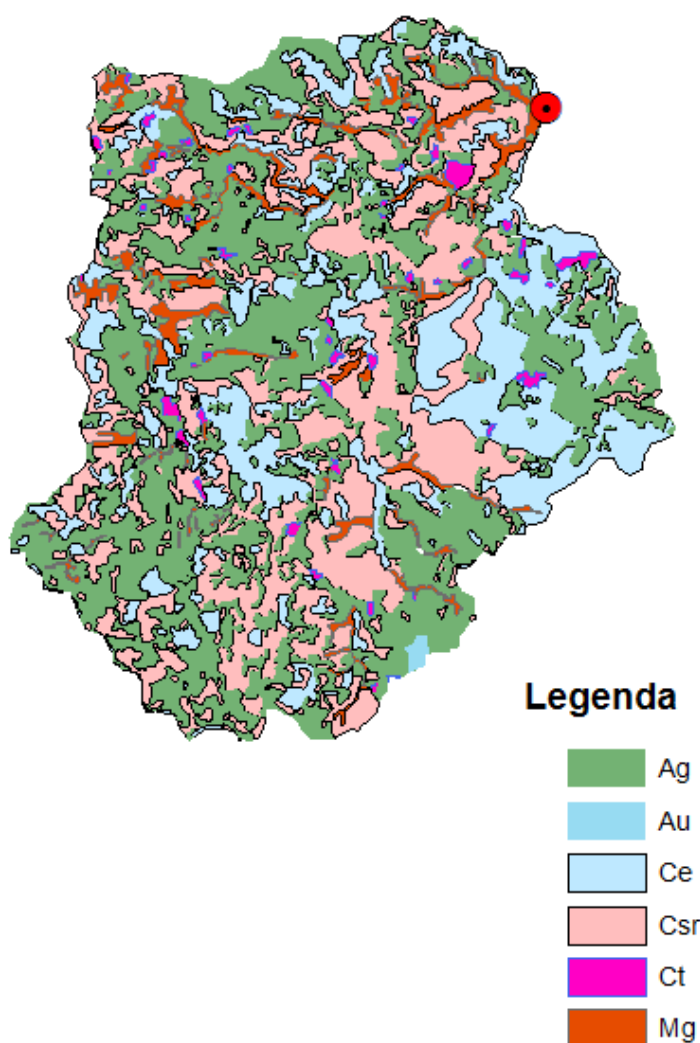


Figura 20 – Mapa da dinâmica da cobertura e uso da terra do Tocantins  
Fonte: AUTOR

AGRUPAMENTO		LEGENDA (1:100.000)		
FORMAÇÕES FLORESTAIS	Floresta Ombrófila	Dk	Floresta Ombrófila Densa Submontana	
		Da	Floresta Ombrófila Densa Aluvial	
		As	Floresta Ombrófila Aberta Submontana	
	Floresta Estacional	Aa	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	
		Fs	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	
		Faz	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	
FORMAÇÕES SAVÂNICAS	Formações Florestais de Cerrado	Cs	Floresta Estacional Decidual Submontana	
		Mg	Mata de Galeria/Mata Ciliar	
		Ms	Mata Seca	
	Cerrado Sentido Restrito	Ce	Cerradão	
		Csr	Cerrado Sentido Restrito	
		Pc	Parque de Cerrado	
		Pp	Palmeiral	
	Formações Campestres	Ve	Vereda	
		Cam	Campo	
		Cr	Campo Rupestre	
	PRAIA E DUNA		Pr	Praia e Duna
	USO DA TERRA	Áreas Antrópicas não Agrícolas	Au	Área Urbanizada
Am			Área de Mineração	
Ca			Capoeira	
Áreas Antrópicas Agrícolas		Ct	Cultura Temporária	
		Cp	Cultura Permanente	
		Ag	Agropecuária	
		Ra	Reflorestamento	
CORPOS D'ÁGUA CONTINENTAL			Corpos D'Água Continental	

Figura 21 – Mapa da dinâmica da cobertura e uso da terra do Tocantins  
Fonte: ADAPTADO PELO AUTOR

### 7.1.5 Vazão máxima de projeto

Para a obtenção da vazão máxima de projeto pela Eq. 17, utilizou-se a área (A) da bacia hidrográfica em Km<sup>2</sup>, o coeficiente de escoamento superficial (c) e a intensidade (i) da chuva na região de Miracema do Tocantins.

Para a área da bacia foi utilizado o ArcGis, como já citado anteriormente. Já o coeficiente de escoamento superficial (c) foi preciso encontrar um coeficiente médio que representasse a bacia, onde foi utilizado como base para a obtenção desse valor a área de cada tipo de vegetação, obtido por meio do software ArcGis, presente na bacia e a variação do coeficiente (Ver Quadro 6) de acordo com as características da mesma.

Utilizando como dados as constantes k, a, b e c, a área da bacia em km<sup>2</sup>, o tempo de retorno de 100 anos e o tempo de duração da chuva em minutos, é que foi possível achar o valor da intensidade pela Eq. 15. Admitiu-se que o tempo de

duração da chuva será o mesmo que o tempo de concentração da bacia, devido o método utilizado para a determinação da vazão.

O tempo de concentração utilizado foi encontrado por meio da Eq. 16, onde se utilizou como dados a área (A) da bacia hidrográfica em Km<sup>2</sup> e a declividade da bacia em metro por metro (m/m).

Para determinar a declividade da bacia foi utilizado a Eq. 18, onde esteve necessário conhecer as cotas máximas e mínimas. A primeira localiza-se no ponto mais distante do rio, em relação ao ponto principal de estudo, e a outra se encontra no exutório. Para conhecer essas cotas foi utilizado a ferramenta *identify* do software ArcGis.

#### 7.1.6 Cota máxima da lamina de água do reservatório e volume de armazenamento

Para a cota máxima da lamina de água do reservatório foi preciso informar ao software Canal, representado na Fig. 21, a largura (b) da base da seção transversal do ponto de estudo ou exutório, localizado no Rio Providência, a vazão (Q) máxima de projeto, a declividade (i) ao longo do talvegue, a inclinação do talude (z), o coeficiente de rugosidade (n), o comprimento do rio principal e a folga (f).

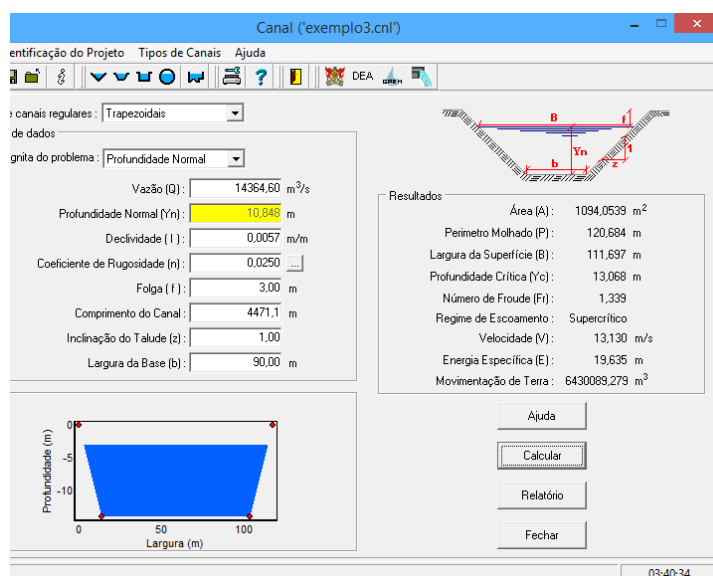


Figura 22 – Obtenção da cota máxima da lamina de água do reservatório por meio do software Canal  
Fonte: Software Canal

- Largura da base (b): 90,00 m
- Vazão máxima de projeto (Q): 14364,60 m<sup>3</sup>/s
- Declividade (i): 0,0057 m/m
- Inclinação do talude (z): 1:1
- Coeficiente de rugosidade (n): 0,0250 (admissível)
- Comprimento do rio principal (L): 4471,1 m
- Folga (f): 3,00 m.

O modelo de canal utilizado para fins de cálculo foi o trapezoidal, devido à seção transversal do ponto em estudo ter uma semelhança considerável com esse formato.

A seção do rio, como pode ser vista na Fig.22, foi obtida utilizando a ferramenta *interpolate line* do software ArcGis.

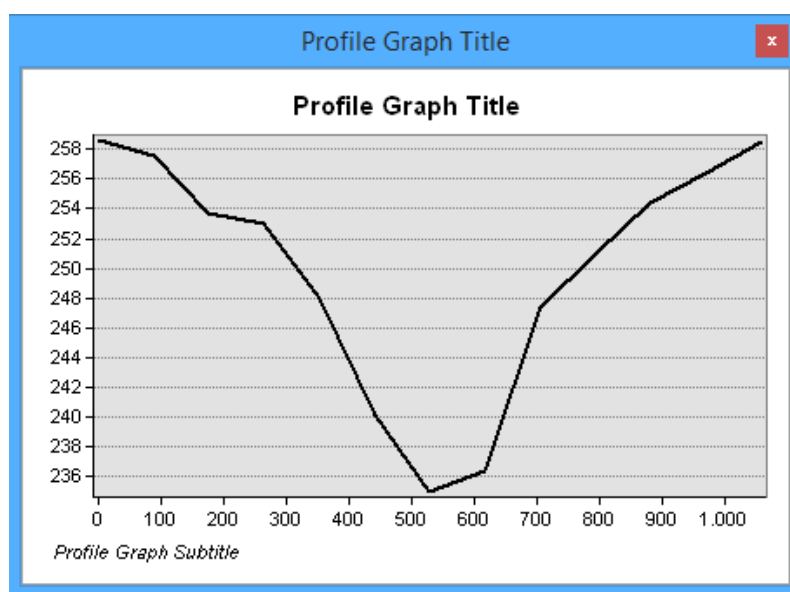


Figura 23- Seção transversal do exutório localizado no Rio Providência  
Fonte: ArcGis

Para achar o volume de armazenamento consistir em fazer a relação da área da bacia hidrográfica vezes à profundidade normal ( $Y_n$ ) obtida no software Canal.

- Profundidade normal ( $Y_n$ ): 10,848 m

### 7.1.7 Determinação da vazão para o extravasor ou ladrão

Para o cálculo da vazão ou descarga máxima para o extravasor foi utilizado a Eq. 14, onde para o cálculo foi preciso ter os seguintes dados: a área da bacia em hectares, a precipitação máxima (i) em centímetros por hora (cm/h), o coeficiente de médio de escoamento (c) e a declividade média da bacia em metros por quilômetro (m/Km).

## 7.2 ASPECTOS GEOTÉCNICOS

### 7.2.1 Fundação

Os estudos de sondagens no local não pode ser realizado, mas para fins de projeto admitiu-se que a fundação da barragem e das ombreiras deverá ser em solos aluvionares. Segundo Molle (1992) não se recomenda a construção de barragens encima de afloramentos rochosos, pois a ligação terra/rocha é bem inferior entre terra/terra. Sem contar que leitos rochosos podem favorecer á infiltração de água pelo cut-off.

### 7.2.2 Materiais a serem utilizados na barragem

Para a determinação dos tipos de materiais utilizados na barragem foi preciso consultar o quadro 2 do Sistema Unificado de classificação do solo.

### 7.2.3 Equipamentos de compactação

Para a determinação dos equipamentos para a compactação de matérias da barragem que necessitem dessa operação foi preciso consultar a disponibilidade desses no mercado da região.

### 7.2.4 Definição do local do extravasor ou ladrão

Para a escolha do local do extravasor foi necessário utilizar o software ArcGis. Visou escolher em uma das duas obreiras da barragem um ponto que possibilitasse a construção dessa estrutura, pois não é recomendado construir no corpo do aterro.

## 7.3 ELEMENTOS DA BARRAGEM

### 7.3.1 Tipo de barragem para o projeto

Para a determinação do tipo de barragem a ser utilizado para o projeto foi necessário escolher a que mais se aproximasse do objetivo deste trabalho.

### 7.3.2 Comprimento da base do aterro

Para o comprimento total da base da barragem foi preciso conhecer a inclinação do talude de montante e de jusante, para que por meio de uma relação de triângulos achasse o comprimento horizontal de cada e também a medida da crista, pois somando os valores obtidos se tem o valor desejado.

### 7.3.3 Comprimento da crista

Para calcular o comprimento da crista foi necessário em primeiro lugar utilizar a Eq. 01 com os dados da cota máxima da lamina de água do reservatório, citada anteriormente, e o comprimento da folga da barragem. Em seguida utilizar a Eq. 02 de U.S Bureau of Reclamaion, que possibilitou achar a largura do coroamento ou crista da barragem.

- Folga da barragem (F): 2,19 m

### 7.3.4 Comprimento da borda livre ou folga da barragem

Para calcular o comprimento da folga ou borda livre foi preciso utilizar a Eq. 06. Entretanto é de suma importância obter os seguintes valores: altura ( $h_0$ ) das



ondas que pode ser arranjada pela a Eq. 08 de Stevenson e Molitor, a velocidade ( $V_o$ ) das vargas pela Eq. 11 de Gaillard e a aceleração da gravidade.

- Altura das ondas ( $h_o$ ): 1,52 m
- Velocidade das vagas ( $V_o$ ): 4,52 m/s
- Aceleração da gravidade ( $g$ ): 9,8 m/s<sup>2</sup>

### 3.3.5 Inclinação dos taludes

Para a decisão das inclinações dos taludes de montante e jusante foi preciso utilizar o programa GeoStudio 2007. Aonde foi feito analises de estabilidade com determinados valores de inclinação e tipo de material, com o objetivo de chegar a estruturas com fatores de segurança igual ou superior a 1,5. Lembrando que as características geotécnicas do solo adotadas foram à coesão, ângulo de atrito e peso específico do solo (Ver Quadro 4).

Para a inclinação do talude de montante adotou-se 1(V):3(H). Já para o de jusante foi de 1(V):1(H). Com essas inclinações e com um solo de argila úmida de coesão igual à zero (0), ângulo de atrito 40° e peso específico de 18,4 KN/m<sup>3</sup> obteve-se para o primeiro citado um fator de segurança de 4,384 e para o segundo de 1,944, comprovando assim que são estáveis admitindo essas características. (Ver Fig. 23 e 24).

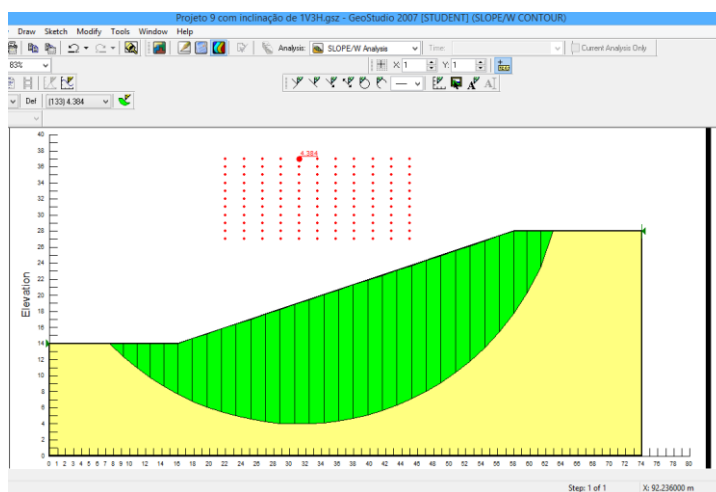


Figura 24- Análise de estabilidade do talude de montante por meio do programa GeoStudio 2007

Fonte: AUTOR

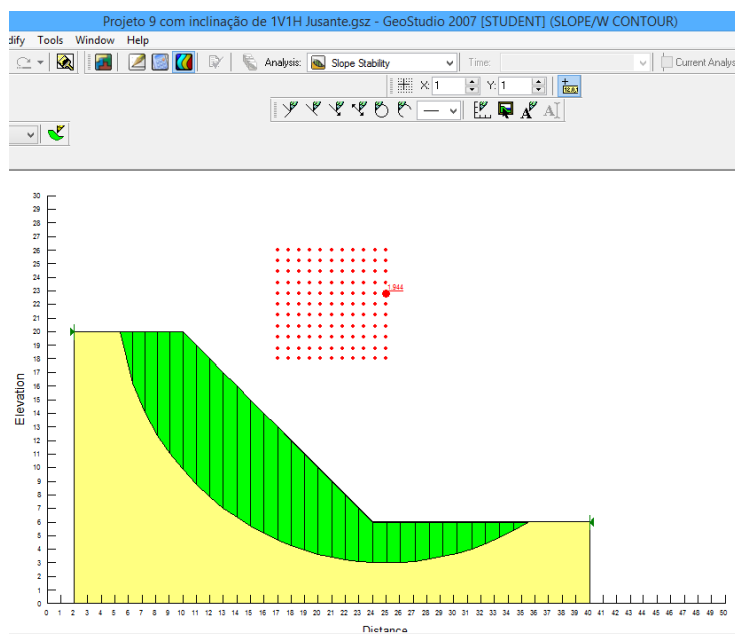


Figura 25- Análise de estabilidade do talude de jusante por meio do programa GeoStudio 2007  
Fonte: AUTOR

### 7.3.6 Dimensionamento do extravasor ou ladrão

Para o dimensionamento do extravasor consistiu em extrair do ArcGis a distância linear de um ponto da ombreira direita da barragem e a seção transversal deste ponto. Foi preciso ainda utilizar o software Canal para estabelecer a largura de base do tipo de canal adotado para o extravasor. Para o cálculo da base foi necessário informar a vazão (Q), a profundidade normal ( $Y_n$ ), a declividade (i), o coeficiente de rugosidade (n), a folga (f), o comprimento do canal e a inclinação (z) do talude. Os respectivos valores estão abaixo.

- Vazão (Q): 51,60 m<sup>3</sup>/s;
- Profundidade normal ( $Y_n$ ): 1,1 m;
- Declividade (i): 0,0057 m/m;
- Coeficiente de rugosidade (n): 0,0180;
- Folga (f): 1 m;
- Comprimento do canal: 150 m;
- Inclinação do talude (z): 1:1.

### 3.3.7 Proteção dos taludes

Para a proteção do talude de montante foi preciso escolher um material que suportasse a ação das ondas provocadas pela ação do vento na superfície do reservatório, e segundo Carvalho (2011), nesse contexto pode-se utilizar como cobertura o rip-rap.

Para o talude de jusante, como não requer um material tão resistente, de acordo com Carvalho (2011), pode-se utilizar grama que possuam raízes rasas.

### 3.3.8 Revestimento da crista ou coroamento

Para o revestimento do coroamento consistiu em empregar uma que não implicasse em um custo alto e que não proporcionasse o acúmulo de água na superfície, optando-se assim por uma camada de brita, com um caimento voltado para o talude de montante.

### 3.3.9 Dimensionamento do filtro vertical e horizontal

Os filtros não foram dimensionados em função de o seu dimensionamento depender necessariamente da posição do nível freático e do tipo de solo do maciço, para que assim então se determine o traçado da rede de fluxo e o tipo de filtro a ser utilizado.

Como a intenção do trabalho não foi de fazer nenhum experimento de caracterização do solo optou-se por deixar o dimensionamento do filtro vertical e horizontal para um trabalho futuro, onde se pode deixar como dica para este fim a utilização do programa GeoStudio 2007.

Devido o dimensionamento e a escolha do filtro vertical e horizontal depender do traçado da rede de fluxo, optou-se por deixar estes para um trabalho futuro.

### 3.3.10 Peças técnicas

Para a elaboração das peças técnicas foi preciso utilizar o programa AutoCad 2010, onde exportando a bacia e as curvas de nível para o mesmo é que se foi possível representar graficamente a estrutura da barragem. Nas peças técnicas estão contidos os cortes, a implantação da barragem com o extravasor, a bacia hidrológica e a bacia hidrográfica (Ver Anexo).

## 8. RESULTADO E DISCUSÃO

### 8.1 Declividade da bacia

Com uma declividade de 5,703 m/Km do rio principal da bacia hidrográfica em estudo, pode-se afirmar que o desnível total do ponto mais distante do rio Providência em relação ao exutório, ponto em estudo, é de 254,99 m. Um desnível tão acentuado assim resultou em um tempo de concentração baixo e uma velocidade de escoamento relativamente alta.

Um desnível acentuado da bacia, segundo Molle (1992), pode ser um limitador da quantidade ou volume de água armazenado, pois quanto menos íngreme for a bacia, maior poderá ser o volume de água armazenado.

$$S = \frac{H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}}{L} = \frac{490 - 235}{44,711} = \begin{matrix} 5,703 \text{ m/Km} \\ \text{ou} \\ 0,005703 \text{ m/m} \end{matrix}$$

### 8.2 Tempo de concentração

O tempo de concentração do rio principal, ou do rio Providência, calculado, é de 490,780 minutos ou 8h e 18 mim. Tendo uma relação entre a distância do talvegue com a declividade do mesmo, pode-se dizer que quanto maior for a declividade do rio, menor será esse tempo de concentração, ou seja, o escoamento gerado pela chuva que precipita no ponto mais distante do rio em relação ao exutório demorará menos tempo para chegar ao local onde se encontra a barragem.

$$t_c = 20,17 * \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,5} = 20,17 * \left( \frac{44,711}{\sqrt{0,005703}} \right)^{0,5} = \begin{matrix} 490,780 \text{ min} \\ \text{ou} \\ 8h 18min \end{matrix}$$

### 8.3 Intensidade

A intensidade da chuva do projeto em questão é de 19,191 mm/h ou 460,536 mm/dia. A intensidade calculada é para um tempo de retorno de 100 anos, ou seja, existe uma probabilidade de a cada 100 anos, precipitar uma chuva com a intensidade em questão, que é considerada a pior chuva para o projeto. Para obtê-la foi necessário utilizar, além das informações de tempo de retorno e de concentração, também dados obtidos por meio do programa Plúvio 2.1. Estas são constantes (K, a, b e c) obtidas por meio de regressão linear de dados climatológicos, aonde se leva em consideração a umidade relativa do ar, velocidade do vento, temperatura e entre outros fatores. Entretanto os valores obtidos por essa regressão são disponibilizados pelo programa já citado, devendo apenas informa-lo a região e o estado de interesse, que neste caso foi o município de Miracema do Tocantins localizado no estado do Tocantins.

$$i = \frac{K * T^a}{(t + b)^c} = \frac{5958,922 * 100^{0,173}}{(490,780 + 35,301)^{1,043}} = \begin{matrix} 19,191 \text{ mm/h} \\ \text{ou} \\ 460,536 \text{ mm/dia} \end{matrix}$$

### 8.4 Vazão máxima de projeto

Por meio do método racional modificado obteve-se uma vazão máxima para o projeto de 14364,60 m<sup>3</sup>/s, para uma intensidade de 19,191 mm/h em uma área de 62542,1 hec. É de suma importância lembrar que esta é a pior situação de vazão que se pode ocorrer em um determinado período de tempo para o projeto em questão. Todo o método aqui utilizado para se obter os dados hidrológicos para se chegar a tal, só deverão ser utilizados quando não se dispuser de dados climatológicos para a realização do projeto.

$$Q = \frac{c * i * A^D}{3,6} = \frac{0,13 * 19,189 * 62542,1^{0,9}}{3,6} = 14364,60 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 8.5 Cota máxima da lamina de água do reservatório e volume de armazenamento

A cota máxima obtida para a vazão máxima de projeto foi de 10,848 m. Entretanto pensando em facilitar o processo executivo adotou-se um valor inteiro, passando para uma altura de 11,00 m. Por meio desse resultado pode-se afirmar que a cota de inundação, pegando como base a seção transversal, é a 245. Sabendo-se a cota de inundação foi possível encontrar o valor da área da bacia hidráulica e seu volume, sendo a primeira citada de 258833,932 m<sup>2</sup> e o segundo de 2847173,256 m<sup>3</sup>.

### 8.6 Vazão para o extravasor ou ladrão

A vazão obtida para o extravasor utilizando a fórmula de Burkli-Ziegler foi de 51,601 m<sup>3</sup>/s.

$$Q = 0,022 * S * h * K * \sqrt[4]{\frac{i}{S}} = 0,022 * 62542,1 * 1,9189 * 0,20 * \sqrt[4]{\frac{5,703}{62542,1}}$$

$$= 51,601 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 8.7 Dimensionamento do extravasor ou ladrão

O tipo de seção escolhida para ser o canal extravasor foi o trapezoidal. O valor da base (b) desse canal é de 10,57 m, a área é de 12,836 m<sup>2</sup>, o perímetro molhado de 13,680 m, a largura de superfície de 12,769 m e uma velocidade de escoamento de 4,020 m/s. Em função de a velocidade ser alta, o canal deverá ter revestimento de concreto ou rocha (Ver quadro 5).

Deve-se ter uma atenção especial no momento da implantação e dimensionamento do extravasor, pois a segurança da barragem contra um rompimento está diretamente ligada à essa estrutura. É ela quem deve escoar todo excesso de água provocado por precipitações.

Segundo Molle (1992), o extravasor quando mal dimensionado, ou seja, não suporta a vazão da cheias, a barragem corre um grande risco de se romper. E também, quando suas dimensões são exageradas isto estabelecerá um prejuízo econômico devido o custo adicional à obra.

### 8.8 Altura total da barragem

A altura total da barragem é de 14,0 m, onde foi somada a altura máxima da lamina de água do reservatório com o comprimento da folga. Neste caso também, pensando no processo executivo, optou-se por admitir um valor inteiro de 3,0 m para a folga, pois nos cálculos o resultado foi de 2,19 m.

### 8.9 Comprimento da crista da barragem

Cota da crista = NA máx. Max + borda livre

Cota da crista = 11,00 + 3,00

Cota da crista = 14,00 m

Pela equação de U.S Bureau of Reclamaion

$$b = 3,63\sqrt[3]{H} - 1,5$$

$$b = 3,63\sqrt[3]{14} - 1,5$$

$$b = 7,25 \text{ m}$$



O comprimento da crista da barragem para uma altura máxima da estrutura de 14,00 m é de 7,25 m.

## 9. CONCLUSÃO

Diante do exemplo pode-se concluir que a utilização de programas para a elaboração de projeto de barragem se mostrou uma técnica prática e com uma precisão nos resultados muito eficaz.

A utilização do programa ArcGis, juntamente com dados topográficos, permitiu obter a bacia hidrográfica, bem com os as suas características, como é o caso do valor da área de 625,412 Km<sup>2</sup> , uma declividade de 254,99 m e um comprimento do talvegue de 44,711 Km.

Já utilizando o software Plúvio 2.1, foi possível encontrar as constantes para o cálculo da intensidade de chuva. Estas são regressões lineares de dados climatológicos de cada região, onde se levam em consideração fatores como velocidade do vento, umidade, temperatura, etc.

Com o conhecimento dos dados obtidos acima e utilizando o Método Racional Modificado, foi possível encontrar uma vazão máxima de projeto de 14364,60 m<sup>3</sup>/s. E para esta, utilizando o programa Canal foi possível encontrar uma altura máxima de lâmina d'água de 10,848 m. Lembrando que esta vazão é a mais crítica que pode ocorrer em um período de tempo estimado.

Com a altura da lâmina d'água definida mais a folga é que se utilizou o software GeoStudio 2007 para a determinação das inclinações dos taludes e de suas estabilidade, sendo o talude de montante 1(V):3(H) com um fator de segurança de 2,916 e o de jusante 1(V):1(H) e fator de 1,944, mostrando assim que as duas estruturas são estáveis, levando-se em consideração essas inclinações e as características do solo utilizado.

Para o cálculo da vazão, da folga da barragem e de outros aspectos como intensidade, duração e frequência e tempo de concentração foram por meio de cálculos manuais.

Por fim utilizando o programa AutoCad 2010 é que foi possível representar graficamente a estrutura e os elementos da barragem.

**ANEXO**

## BIBLIOGRAFIA

ALBURQUEQUE, Paulo. **Engenharia civil fundações e obras de terra**. São Paulo: FACENS, 2003. Disponível em < <http://www.feb.unesp.br> >. Acesso em: 14 de Abr. 2015.

ATLAS, Digital das Águas de Minas. **Roteiro básico para o dimensionamento de pequenas barragens de terra no estado de MG**. 3.ed. Minas Gerais: 2011. Disponível em: < <http://www.atlasdasaguas.ufv.br> >. Acesso em: 11 de Mar. 2015.

ABNT NBR 6502:1995 - **Rocha e solos**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br> >. Acesso em: 06 de Mar. 2015.

AZEVEDO, Maria da Penha Nogueira de Azevedo. **Barragem de terra- sistema de drenagem interna**. São Paulo:2008. Disponível em: <http://engenharia.anhembibr.com.br> . Acesso em: 19 de fev. 2015.

CARVALHO, Luiz Hernani de. **Curso de barragem de terra**; com vista ao Nordeste brasileiro. 1.ed.Fortaleza: DNOCS,1983.v.1.

CARVALHO, Luiz Hernani de. **Curso de barragem de terra**; com vista ao Nordeste brasileiro. 1.ed.Fortaleza: DNOCS,1996.v.4.

CRUZ, Paulo Teixeira da. **100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto**. São Paulo: Oficina de Texto,1996.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC,1988.

CARVALHO, David de. **Barragens: uma introdução para graduados**. São Paulo: 2011. Disponível em < <http://www.feagri.unicamp.br> >. Acesso em: 17 de Mar. 2015.

GEOTECNIA, Manual de. **Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas.** São Paulo: DER sp,1991.

GUIDICINI, Guido e NIEBLE, Carlos M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação.** São Paulo, Edgard Blucher, 1983.

MASSAD, Façal. **Obras de terra: curso básico de geotecnia.** 2.ed. São Paulo: Oficina de Texto,2000.

MOLLE, François. **Manual do pequeno açude**, por François Molle e Eric Cadier. Recife: SUDENE-DPG-PRN-DPP-APR,1992.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas.** São Paulo: Oficina de Texto, 2000.

PEREIRA, Milton Fisher. **Construções rurais.** São Paulo: Nobel, 1986.

RIGHETTO, Antonio Marozzi. **Hidrologia e recursos hídricos.** 1.ed. São Carlos: EESC/USP, 1998.

VARGAS, Milton. **Introdução a mecânica dos solos.** São Paulo: McGraw – Hill, 1977.