

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC**

**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**GISLAINE DANIESKI**

**AVALIAÇÃO DOS ESTUDOS E CRITÉRIOS TÉCNICOS DE HIDROLOGIA E  
HIDRÁULICA UTILIZADOS NOS PROJETOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS  
DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO NA REGIÃO CARBONÍFERA  
DE SANTA CATARINA**

**CRICIÚMA**

**2013**

**GISLAINE DANIESKI**

**AVALIAÇÃO DOS ESTUDOS E CRITÉRIOS TÉCNICOS DE HIDROLOGIA E  
HIDRÁULICA UTILIZADOS NOS PROJETOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS  
DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO NA REGIÃO CARBONÍFERA  
DE SANTA CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador (a): Prof. Dr. Álvaro José Back.

**CRICIÚMA**

**2013**

**GISLAINE DANIESKI**

**AVALIAÇÃO DOS ESTUDOS E CRITÉRIOS TÉCNICOS DE HIDROLOGIA E  
HIDRÁULICA UTILIZADOS NOS PROJETOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS  
DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO NA REGIÃO CARBONÍFERA  
DE SANTA CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Criciúma, 24 de Junho de 2013.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Álvaro José Back - Doutor - (Unesc) - Orientador

Prof. Clóvis Noberto Savi - Mestre - (Unesc)

Prof. Sérgio Luciano Galatto - Mestre - (Unesc)

**Dedico este trabalho àquela que me adotou como filha e me amou incondicionalmente, àquela que ainda após sua partida se faz muito presente. Á minha vovó Verônica Danielski.**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, meus votos de agradecimento pela conquista dessa importante etapa de minha vida vão a Deus, por sempre estar do meu lado dando força e saúde. Ele é a razão por ter chegado até aqui!

À minha vovó, Verônica Danielski, por ter sido minha mãe e meu pai, pela dedicação infinita que depositou na minha criação, e especialmente, pelo seu amor incondicional. Quando subir no palco para receber o meu diploma, sentir-te-ei ao meu lado, sorrindo e feliz. Sentirei tua mão carinhosa afagar os meus cabelos e neste instante te abraçarei em silêncio, com um misto de alegria e saudade. E por todo tempo que ainda viver, eternizarei tua memória e hei de ser fiel aos teus princípios, pois tudo que me ensinaste é à base de todo este meu trabalho.

Aos meus familiares, que sempre acreditaram e incentivaram os meus estudos, proporcionando motivação e coragem. Não poderia deixar de citar minhas irmãs, Edilaine e Patrícia que sempre confiaram no meu potencial. Amo vocês!

Ao meu namorado Eduardo Olimpio pelo seu amor e companheirismo, por estar ao meu lado, me trazendo forças. Obrigada por tudo amor!

Ao meu amigo e mestre, Plínio de Sá Moreira, pela sua paciência, carinho e apoio. Muito obrigada pelos livros, pelas conversas e por todo incentivo prestado nesta etapa da minha vida. Como profissional, será sempre o meu melhor exemplo de competência e inteligência. Como pessoa estará sempre guardado no meu coração.

À todos do escritório DNPM pela paciência e torcida. Obrigada por proporcionar essa experiência de estágio tão incrível. Estarão sempre nas minhas melhores lembranças.

Ao Prof. Álvaro José Back, pela orientação, dedicação, e ajuda para a conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos que estiveram presentes nesta etapa tão esperada, pela presença em todos os momentos, e pela compreensão em momentos que estive ausente. Gostaria de citar em especial, minha amiga Fabiane Nunes Gonçalves, que esteve presente nos momentos mais difíceis do curso e sempre foi muito prestativa.

E a todos que de alguma forma contribuíram e fizeram parte da conquista deste meu objetivo de vida.

## RESUMO

A exploração intensiva do carvão na região sul catarinense resultou inúmeras áreas degradadas com presença de rejeito, que se arrastou por décadas sem tratamento adequado. Após a entrada da Ação Civil Pública a justiça decretou em 2007 a todas as carboníferas envolvidas, incluindo a União, a recuperação de todos os passivos ambientais que geraram. A partir de então, começou a implantação de projetos de recuperação de áreas degradadas, que constituem de vários elementos técnicos visando devolver ao ambiente suas características, estabilidade e equilíbrio. Dentro destes elementos estão inseridos os termos relacionados à hidrologia e hidráulica, os quais estão sendo poucos observados e negligenciados na prática. Mediante a esta dificuldade este trabalho tem por objetivo propor critérios técnicos relacionados à hidrologia e hidráulica em projetos de recuperação de áreas degradadas. Para tal, foi realizado estudos de três projetos de recuperação ambiental da região, a fim de avaliar os critérios admitidos. Salienta-se que também foram conferidos os documentos anexados aos projetos, baseados na norma NBR 13029:2006 e na NBR 13030:2005, bem como, nas orientações de técnicos da área. Para garantir sigilo aos nomes das empresas, os projetos foram tratados como: Projeto A, Projeto B e Projeto C. A avaliação permitiu verificar que nos aspectos hidrológicos todos os projetos adotaram o Método Racional para medir a vazão máxima, estando de acordo com limite máximo sugerido de 250 ha. Todos usaram as equações de chuvas intensas estabelecidas por Back (2002), para Urussanga, mas com períodos e dados diferentes, apresentando entre si diferenças de 40 % a 50% nos cálculos. O coeficiente de escoamento superficial (C) adotado foi de 0,95 para o projeto A e B, isto equivale ao escoamento em superfície pavimentada com asfalto ou concreto, o que parece superdimensionado, quando se considera que as áreas degradadas terão cobertura com argila e algum tipo de vegetação. O projeto A e B não apresentaram cálculos para medir o tempo de concentração, apenas o projeto C satisfaz. Nos aspectos hidráulicos todos consideram a fórmula de Manning para dimensionamento dos canais, mas só o projeto C apontou o memorial descritivo. A folga dos canais foi citada pelo projeto B entorno de 9 a 24% e o projeto C adotou um valor fixo de 10 cm de folga para todos os canais. A partir destas avaliações elaborou-se termos de referências na área de hidrologia e hidráulica, bem como, para os documentos anexados ao projeto. Pode-se concluir que os projetos usaram a mesma metodologia para estimativa da vazão máxima, no entanto apresentaram diferentes critérios na adoção da chuva de projeto e nos coeficientes de escoamento que podem levar a valores significativamente diferentes de vazão. Em hidráulica os projetos usaram a mesma metodologia para dimensionamento de canais. Como os valores dos coeficientes de rugosidade e os limites de velocidade ou declividade estão bem definidos na literatura, foram concebidos projetos dentro de critérios semelhantes e que podem facilmente serem justificados.

**Palavras-chave:** Projetos de recuperação de áreas degradadas. Hidrologia. Hidráulica.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo hidrológico natural. ....	23
Figura 2 - Ciclo hidrológico em áreas recuperadas/degradadas. ....	23
Figura 3 - Gráfico para determinação da borda livre. ....	39
Figura 4 - Canal retangular de concreto e canal retangular em terra. ....	40
Figura 5 - Ilustração de enrocamento de pedras e gabiões.....	41
Figura 6 - Diferentes formas de seção.....	42
Figura 7 - Borda livre adotado no Projeto C. ....	54
Figura 8 - Exemplo de canal assoreado. ....	61
Figura 9 - Exemplo de processos erosivos.....	62
Figura 10 - Processos erosivos com exposição de rejeito.....	63
Figura 11 - Rompimento do lacre impermeabilizante logo abaixo do canal.....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de correção para Método Racional.....	30
Tabela 2 - Valores do coeficiente de escoamento superficial indicados pela ASCE, citada por TUCCI, (1997).....	31
Tabela 3 - Valores de C adotados pela prefeitura de São Paulo.....	31
Tabela 4 - Valores de C recomendados pelo Soil Conservation Service (Continua)	31
Tabela 5 - Coeficiente de rugosidade de Manning (Continua).....	36
Tabela 6 - Velocidades admissíveis para evitar erosão.....	37
Tabela 7 - Velocidades mínimas para evitar assoreamento .....	38
Tabela 8 - Limites de declividade em canais .....	38
Tabela 9 - Aspectos de hidrologia utilizados nos respectivos projetos.....	47
Tabela 10 - Intensidade máxima da chuva (mm/h) calculada com as equações usadas nos projetos.....	48
Tabela 11 - Aspectos de hidráulica utilizados nos respectivos projetos (Continua).	51
Tabela 12 - Documentos anexados aos projetos .....	55



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
ASCE	American Society of Civil Engineers/Sociedade America de Engenheiros Civis
CEUFRGS	Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
DAM	Drenagem Ácida de Mina
DEINFRA	Departamento Estadual de Infraestrutura
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EIA/RIMA	Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental
IDF	Intensidade - Duração - Frequência
IPAT	Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPF	Ministério Público Federal
NBR	Norma Brasileira
NRM	Norma Reguladora de Mineração
PME	Programa de Mobilização Energética
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
PRAD	Projeto/Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense
USBR	United States Bureau of Reclamation/Departamento de Recuperação dos Estados Unidos
USP	Universidade de São Paulo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3 MINERAÇÃO DE CARVÃO</b> .....	<b>14</b>
3.1 LEGISLAÇÕES E NORMAS .....	15
3.2 PROJETOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – PRAD.....	17
<b>4 SISTEMAS DE DRENAGEM</b> .....	<b>19</b>
4.1 MICRODRENAGEM .....	19
4.2 MACRODRENAGEM.....	19
4.3 MEDIDAS ESTRUTURAIS E NÃO ESTRUTURAIS.....	19
<b>4.3.1 Medidas estruturais</b> .....	<b>19</b>
<b>4.3.2 Medidas não estruturais</b> .....	<b>20</b>
<b>5 CICLO HIDROLÓGICO</b> .....	<b>22</b>
5.1 DANOS AMBIENTAIS CAUSADOS .....	24
<b>5.1.1 Acúmulo de sedimentos</b> .....	<b>24</b>
<b>5.1.2 Poluição das águas superficiais e subterrâneas</b> .....	<b>24</b>
<b>6 ESTUDOS HIDROLÓGICOS</b> .....	<b>26</b>
6.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	26
<b>6.1.1 Aspectos relacionados a chuvas intensas</b> .....	<b>26</b>
<b>6.1.2 Chuvas intensas para projeto</b> .....	<b>26</b>
<b>6.1.3 Tempo de recorrência (período de retorno)</b> .....	<b>27</b>
<b>6.1.4 Vazões máximas – Método Racional</b> .....	<b>28</b>
6.1.4.1 Restrições.....	29
6.1.4.2 Correção para tormentas infrequentes .....	30
<b>6.1.5 Coeficiente de escoamento superficial (C)</b> .....	<b>30</b>
<b>6.1.6 Tempo de concentração</b> .....	<b>32</b>
<b>7 ESTUDOS HIDRAÚLICOS</b> .....	<b>35</b>
7.1 EQUAÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DE CANAIS.....	35
<b>7.1.1 Fórmula de Manning</b> .....	<b>35</b>
7.2 VELOCIDADES E DECLIVIDADES.....	37
<b>7.2.1 Velocidades mínimas e máximas</b> .....	<b>37</b>

<b>7.2.2 Declividade mínima e máxima</b> .....	<b>38</b>
7.3 BORDA LIVRE.....	39
7.4 REVESTIMENTOS DOS CANAIS.....	39
7.5 FORMATO DOS CANAIS.....	41
7.6 CAPACIDADE DE TRANSPORTE .....	42
7.7 DISSIPACAO DE ENERGIA (BACIAS, ESCADARIAS, DEGRAUS).....	43
<b>8 METODOLOGIA</b> .....	<b>45</b>
<b>9 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS</b> .....	<b>47</b>
9.1 ESTUDOS DOS ASPECTOS DE HIDROLOGIA.....	47
9.2 ESTUDOS DOS ASPECTOS DE HIDRÁULICA .....	51
9.3 ANÁLISES DOS DOCUMENTOS ANEXADOS AO PROJETO.....	54
9.4 TERMOS DE REFERÊNCIA EM DRENAGEM .....	57
<b>9.4.1 Termos de referência na área de hidrologia</b> .....	<b>57</b>
<b>9.4.2 Termos de referência na área de hidráulica</b> .....	<b>58</b>
<b>9.4.3 Documentos anexados aos projetos</b> .....	<b>59</b>
<b>10 CONCLUSÃO</b> .....	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Drenagem é o termo usado para designar o escoamento de fluídos, especialmente água, por meio de instalações hidráulicas, podendo ser aplicados em rodovias, zonas rural ou em áreas urbanas. Neste trabalho será abordada a drenagem em áreas com recuperação ambiental, que anteriormente foram degradadas pelas atividades de mineração de carvão.

Após a descoberta do carvão, a região carbonífera iniciou descontroladamente sua exploração, expandindo o espaço físico do município, já que era preciso uma ampla área para sua extração, a denominada mina a céu aberto. Todas as atividades econômicas contornavam em torno da mineração, no entanto, com a lavra mal planejada e indevida, e sem preocupação com o meio ambiente, gerou grandes consequências ambientais. O uso da água no beneficiamento com retorno direto aos rios e cursos de água, rejeitos acumulados submetidos às chuvas, converteu a bacia hidrográfica da região em “lixo aquático”. Volumes gigantes de rejeitos piritosos colocados no solo sem tratamento, gerando poluentes atmosféricos e extensões de áreas degradadas, são algumas destas consequências (ALBA, 2010).

Em função destes efeitos, o poder público iniciou uma pressão com as empresas mineradoras criando legislações mais rígidas e específicas que possibilitassem a recuperação obrigatória das áreas mineradas. Precisamente doravante da Ação Civil Pública, que decretou em 2007 a todas as carboníferas envolvidas, incluindo a União, a recuperação de todos os passivos ambientais que geraram. A partir de então, começou a implantação de projetos/planos de recuperação de áreas degradadas existentes atualmente, o qual é objeto de análise neste trabalho.

Dentro do conceito dos projetos de recuperação estão inseridos os termos relacionados à hidrologia e hidráulica, que por sua vez, merecem atenção redobrada nos projetos estruturais. Pois, o sistema de drenagem irá definir e coletar todo o escoamento da água que o terreno recebe, e para não implicar em grandes desastres ou retrabalhos, o projeto deve estar bem calculado.

As chuvas intensas fazem com que ocorra escoamento superficial, que podem acarretar processos erosivos, que por sua vez, pode remover e desprender todo o material que encontrar no seu caminho, colocando em risco o rompimento da

impermeabilização do solo (quando houver rejeito), bem como, perda do material argiloso e da vegetação implantada na fase de recuperação. É nesses momentos que o sistema de drenagem pluvial exerce seu papel, captando essas águas, para que não haja um acúmulo na área recuperada e não haja retrabalhos e mais custos financeiros. Por isso, a importância de engenhar com cautela os projetos relacionados com a hidrologia e hidráulica nas áreas em processo de recuperação.

Salienta-se que não há valores de coeficientes ou fórmulas de cálculos específicos para projetos de recuperação ambiental. São usados normalmente referências e modelos de drenagem urbana, para tanto, a elaboração de um termo de referência com critérios técnicos de drenagem para áreas em processo de recuperação pode ser tão relevante, haja vista, que irá facilitar os técnicos e projetos futuros quanto aos termos mínimos a serem utilizados. Para tal, foram estudados três projetos de recuperação de áreas degradadas da região, no objetivo de avaliar os métodos que tem sendo adotados, para posteriormente propor termos de referência relacionados à hidrologia e hidráulica.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Propor critérios técnicos relacionados à hidrologia e hidráulica em projetos de recuperação de áreas degradadas provenientes da mineração de carvão.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar três projetos de recuperação de áreas degradadas da região carbonífera;
- Avaliar os critérios hidrológicos e hidráulicos adotados pelos projetos de recuperação de áreas degradadas selecionados;
- Elaborar termos de referências com critérios técnicos de hidrologia e hidráulica para projetos de recuperação de áreas degradadas;
- Criar uma lista de documentos mínimos a serem contemplados nos anexos dos projetos de recuperação de áreas degradadas.

### 3 MINERAÇÃO DE CARVÃO

A Região Sul Catarinense deu início à exploração do carvão no fim do século XIX, com finalidades energéticas, envolvendo os municípios de Orleans, Lauro Muller, Urussanga, Siderópolis, Criciúma, Içara, Maracajá, Forquilha e Treviso. O início da Primeira Guerra Mundial proporcionou nos primeiros períodos, um crescimento da produção de carvão na região, entre elas a Companhia Carbonífera Urussanga (1918) e a Companhia Siderúrgica Nacional – CSN (1946). Decorrente da crise mundial do Petróleo em 1973 contribuiu o desenvolvimento da exploração do carvão, que passa a ter subsídio do governo. Neste período ocorreu a mecanização e abertura de novas minas, especialmente a céu aberto, com o incentivo do Programa de Mobilização Energética – PME, financiado pelo Governo Federal (GOMES et al., 2003).

O consumo do carvão mineral teve um grande impulso com a crise do petróleo na década 70, que através de sua queima nas usinas termelétricas passou a ser utilizado como fonte de energia, substituindo o óleo combustível. Por consequência, surgiram minas de maior porte que atenderam esta maior demanda, e por outro lado ampliaram os problemas ambientais advindos da atividade (Relatório De Monitoramento dos Indicadores Ambientais, 2009).

Essas atividades minerárias resultaram em impactos ambientais agravantes para o ambiente da região, especialmente, na geração de drenagem ácida de mina, tendo em vista, que a atividade carbonífera utilizava o solo para o descarte de seus resíduos e os recursos hídricos, para lançamento de efluentes, ambos sem nenhum tratamento específico. Atualmente os depósitos de rejeitos ocupam aproximadamente 40% das áreas degradadas pela mineração de carvão, volumes que necessitam ser confinados para impedir o contato com água e o ar e evitar a geração de DAM – Drenagem ácida de mina (ALBA, 2010).

Milioli et al., (2009) apresentam dados ainda mais definidos e impactantes sobre as áreas degradadas da bacia carbonífera. De acordo com os autores a região contava com 5.000 ha de áreas degradadas pela extração de carvão, sendo que desta expressão foram mineradas: 2.770 ha a céu aberto, 2.730 ha de depósitos de rejeito e 58 ha de lagoas ácidas. Salientam que dessa totalidade apenas 9% foram mapeados como zonas urbanas e 30% como áreas revegetadas (GOMES, 2004, apud MILIOLI, 2009).

É perceptível avaliar que a quantidade de áreas degradadas decorrentes da exploração do carvão na região é expressamente significativo em termo de danos ambientais, o que se faz necessário à realização de recuperação dessas áreas, de modo que cessem a produção de poluentes e minimizem o desequilíbrio dos ecossistemas. Foi a partir de implicações como estas, que provieram exigências dos órgãos governamentais, mais especificamente, no ano de 1993 a Procuradoria da República em Santa Catarina entrou com uma Ação Civil Pública contra a União, o Estado de Santa Catarina e onze mineradoras de carvão, reivindicando o resgate do passivo ambiental existente sobre a bacia carbonífera sul catarinense. No ano de 2000, a Justiça Federal emitiu a sentença da Ação Civil Pública obrigando os condenados a fazerem a recuperação ambiental.

O Superior Tribunal de Justiça julgou no ano de 2007, o recurso especial, ocasião em que decidiu que a União é de fato, co-responsável pela recuperação dos passivos ambientais. Como também incluiu novamente os sócios das empresas carboníferas e mitigou a cláusula de solidariedade, dizendo que cada empresa é responsável direta pela recuperação dos passivos que gerou (Relatório De Monitoramento dos Indicadores Ambientais, 2009).

Em função disso, os Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD passaram a ser implantados e exigidos pelas empresas mineradoras, a fim de cumprir não só com Ação Civil Pública, mas com o que reza as legislações ambientais.

### 3.1 LEGISLAÇÕES E NORMAS

Após a divulgação da Nova Constituição Federal Brasileira estabelecida em 05 de outubro de 1988, a questão ambiental foi abordada de forma mais específica, especialmente na exploração mineral e recuperação de áreas degradadas providas das atividades de mineração. As obrigações impostas são estabelecidas claramente no artigo 225, parágrafo § 2º da constituição que reza: “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”.

A Política Nacional do Meio Ambiente, na forma da lei 6.938 de 31 de agosto de 1981, também aborda a recuperação de áreas degradadas logo no



segundo artigo, que por sua vez, foi regulamentada pelo Decreto 97.632 de 10 de abril de 1989, onde estabeleceu que todo empreendimento minerário deve apresentar ao órgão ambiental competente juntamente com Estudo de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA, o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD.

Vale ressaltar a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção de vegetação nativa e supre o Código Florestal, modificada pela Medida Provisória nº 571, de 25 de maio de 2012, que aborda em vários artigos (por exemplo, nos artigos 1º-A, 7º, 17, 41, 44, 46, 51, 54, 58, 61-A, 64, 65 e 66) de ações organizadas entre o setor público e a sociedade civil para requerer a recuperação de áreas degradadas (Ministério de Meio Ambiente, 2012).

Além destas legislações, existem também normas específicas de recuperação e reabilitação de áreas degradadas provenientes da mineração. Como é o caso da Norma Reguladora de Mineração – 21 (NRM 21) prevista na Portaria nº 237, de 18 de outubro de 2001, que trata de reabilitação de áreas pesquisadas, mineradas e impactadas, que exige e especifica os quesitos mínimos num projeto de reabilitação, inclusive drenagem, conforme descreve no item 21.5 da referida norma:

21.5 No projeto de reabilitação de áreas pesquisadas, mineradas e impactadas deve constar no mínimo os seguintes itens: a) identificação e análise dos impactos ambientais diretos ou indiretos sobre os meios físico, biótico e antrópico; b) aspectos sobre as conformações paisagística e topográfica, observando-se: I- estabilidade; II- controle de erosão; **III- drenagem**; IV- adequação paisagística e topográfica e; V- revegetação; c) programa de acompanhamento e monitoramento; d) planta atualizada na qual conste a situação topográfica atual das áreas a serem reabilitadas; e) aptidão e uso futuro da área; f) apresentar mapas, fotografias, planilhas e referências bibliográficas e g) cronograma físico e financeiro do plano de reabilitação (PORTARIA Nº 237, 2001, NRM-21, grifo nosso).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) também apresenta norma exclusiva para elaboração de projetos de reabilitação em áreas degradadas pelas atividades de mineração, a NBR 13030:1999 – Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. Essa norma expõe diretrizes para elaboração e apresentação de projetos, visando à obtenção de subsídios técnicos que possibilitem a manutenção e/ou melhoria da qualidade ambiental, independente da fase de instalação do projeto. A norma traz em seu anexo, vários tópicos elementares para o cumprimento de um bom projeto, entre os

quais, enfatiza-se o item A.5.1 pertinente ao tema desse trabalho: “Detalhamento do processo nas áreas de influência direta e indireta, levando-se em consideração o uso futuro da área: estabilidade, controle de erosão e drenagem; adequação paisagística [...]”. Além deste, são abordados vários outros itens essenciais para criação e execução de um projeto de reabilitação, onde todos estão inter-relacionados.

Outra norma tão importante quanto esta acima é a NBR 13029:2006 – Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha – haja vista que, na lavra do carvão bruto é quase inevitável o acompanhamento do estéril, que por sua vez, pode se tornar um contaminante quando exposto a superfície. Por tal necessita ser confinado, evitando contato direto com a superfície terrestre e para o cumprimento desse objetivo, a elaboração do projeto deve contemplar requisitos mínimos, os quais a norma NBR 13029:2006 especifica detalhadamente. Dentro desses requisitos são observados os estudos hidrológicos e hidráulicos, além de considerar a drenagem interna e superficial, que por sua vez, no quesito drenagem superficial indica os tempos mínimos de recorrência, como descreve no item 3.5.8:

Apresentar as locações e a geometria dos dispositivos de drenagem superficial e as especificações dos materiais a serem utilizados. Os seguintes tempos mínimos de recorrência são recomendados: a) 100 anos para dispositivos de pequena vazão, tais como canaletas de berma e descidas de água entre taludes; b) 500 anos para os canais periféricos de coleta e condução de águas superficiais (ABNT, 2006, p.4).

Vale lembrar que a norma não considera todos os aspectos contidos nas legislações federais, estaduais e locais, que para tanto, os responsáveis pelos projetos devem estabelecer as práticas associadas para cada caso.

### 3.2 PROJETOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – PRAD

Os Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) prevêm essencialmente a retirada e/ou deposição controlada dos rejeitos localizados na área; a manutenção e/ou aterramento das lagoas artificiais da área; a remodelagem da superfície do terreno; a reconstrução do solo; a introdução de espécies vegetais (arbóreas e herbáceas) a partir de um banco de sementes (turfa) e semeadura; e a manutenção de áreas onde houve regeneração natural. Essas obras visam restituir o

equilíbrio do ambiente, propiciando o retorno e a manutenção da fauna e da flora nativa, além de extinguir ou isolar as fontes de poluição que contribuem para alterar a qualidade do solo e dos recursos hídricos (IPAT/UNESCO, 2009).

Assim, um PRAD estabelece vários termos de referência, a implantação da revegetação na área, preservação e delimitação de APP's, impermeabilização e/ou retirada dos rejeitos, entre outros, inclusive drenagem, o tema desse trabalho. Todo o projeto pode ser comprometido quando a drenagem é negligenciada, uma vez que, o escoamento pluvial pode acarretar processos erosivos devastadores. O rompimento da impermeabilização, perda de material argiloso, solo construído e a vegetação podem ser facilmente removidos pelos fenômenos erosivos, o que implicará em retrabalho, custo operacional e financeiro. Fendrich et al.,(1997) já afirmavam que é inviável planejar, projetar, edificar ou acondicionar medidas de conservação e controle nas bacias hidrográficas, sem que se comprometa explicitamente com a erosão.

## **4 SISTEMAS DE DRENAGEM**

Nos projetos de drenagem em recuperação de áreas degradadas são adotados os termos usados na drenagem urbana, de forma adaptada. Os sistemas de drenagem são dimensionados em dois planos principais: a microdrenagem e a macrodrenagem.

### **4.1 MICRODRENAGEM**

A microdrenagem consiste essencialmente do escoamento pluvial nas redes primárias, são quando a chuva escoa pelas ruas, lotes e condomínios através das sarjetas, condutos e bocas de lobo (entre outros elementos) para o escoamento do duto de drenagem principal (TUCCI, 1997).

### **4.2 MACRODRENAGEM**

A macrodrenagem refere-se às intercessões em cavas, depressões ou em fundos de vale que coletam águas pluviais de áreas abastecidas de sistemas de microdrenagem ou por outros meios. Geralmente nestes casos o escoamento é bem delineado, ainda que não haja nenhum curso de água perene (TUCCI, 1997). Os projetos de macrodrenagem abordam grandes áreas, são representadas normalmente em km<sup>2</sup> ou hectares, consistem no conjunto de microdrenagens do local a ser projetado.

### **4.3 MEDIDAS ESTRUTURAIS E NÃO ESTRUTURAIS**

No controle do escoamento superficial existem duas técnicas diferentes, mas que dependem uma da outra para alcançar seu objetivo, são elas: medidas estruturais e não estruturais.

#### **4.3.1 Medidas estruturais**

De acordo com Tucci (1997), as medidas estruturais são obras de engenharia implementadas para deter, desviar e reduzir o risco de inundações. E

pode ser subdivida em medidas extensivas ou intensivas. As medidas extensivas são aquelas que atuam na bacia, buscando alterar as relações entre a precipitação e vazão, como a alteração da cobertura vegetal do solo, que diminui os picos de enchentes e contém a erosão. As medidas intensivas referem-se aquelas que operam no rio e podem ser de três formas: a) aceleram o escoamento: construção de diques e *polders*, aumento da capacidade de rios e corte de meandros; b) tarda o escoamento: reservatórios e as bacias de amortecimento; c) desvio do escoamento são obras com canais de desvios.

Nesse sentido, as medidas estruturais aplicadas nos projetos de áreas degradadas devem levar em conta obras de engenharia, de modo que promova alterações efetivas na área de influência direta, a qual se caracteriza pelo movimento do solo, construção de obras hidráulicas, sistema viário, remodelagem topográfica e restituição da vegetação, tendo como princípio o desvio das águas de montante e da chuva direta, além do isolamento do material contaminante (pirita ou estéril) quando houver.

#### **4.3.2 Medidas não estruturais**

Quanto às medidas não estruturais, como o próprio nome sugere, não utilizam estruturas ou obras de engenharias que influenciem na drenagem superficial direta das águas. São representadas, basicamente, por medidas destinadas ao controle do uso e ocupação do solo ou à diminuição da vulnerabilidade dos ocupantes das áreas de risco dos efeitos das inundações (PMSP, 1999). Esses dois últimos estão diretamente ligados ao uso futuro da área. A reconformação topográfica e os sistemas de drenagem devem ser projetados de acordo com a reabilitação da área, devem ser analisados e calculados muito antes de sair do papel para ir a campo. Visto que, dependendo da utilização futura da área, esta pode comprometer o sistema de drenagem aplicado, devido às interferências e atividades que essa reabilitação pode causar no futuro. Como por exemplo, se o uso futuro de um projeto inclui loteamento, o que garantirá que aqueles que habitam a área recuperada, não interfiram ou construam novas obras que afetem não só a drenagem, mas a vegetação e o rompimento da impermeabilização? Esse é um tema ainda muito discutido pelos técnicos da área, e também uma pergunta quase impossível de ser respondida. Pois, não há como garantir o monitoramento destes

indivíduos quanto ao que vão fazer ou não em suas casas, ainda que sejam instruídos pela empresa ou técnico habilitado. Talvez por isso, a grande maioria dos PRAD's da região carbonífera reabilitam a área para conservação do ecossistema ou pastoril. Sendo esse último mais complexo e menos usual, por exigir maior manutenção e controle das áreas com rejeito, de modo que garanta a não contaminação do material piritoso com o animal, evitando assim, proliferação do contaminante ao leite, carne e etc.

## 5 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico consiste no movimento contínuo e fechado da água presente nos oceanos, na superfície terrestre e na atmosfera. Tal movimento é impulsionado essencialmente pela força da gravidade e pela energia solar, que promove a evaporação das águas dos mares e da superfície. Assim, na atmosfera, o agrupamento de microgotículas formam as nuvens que, quando saturadas, provocam precipitações, na forma de chuva, granizo, orvalho e neve (MMA, 2013).

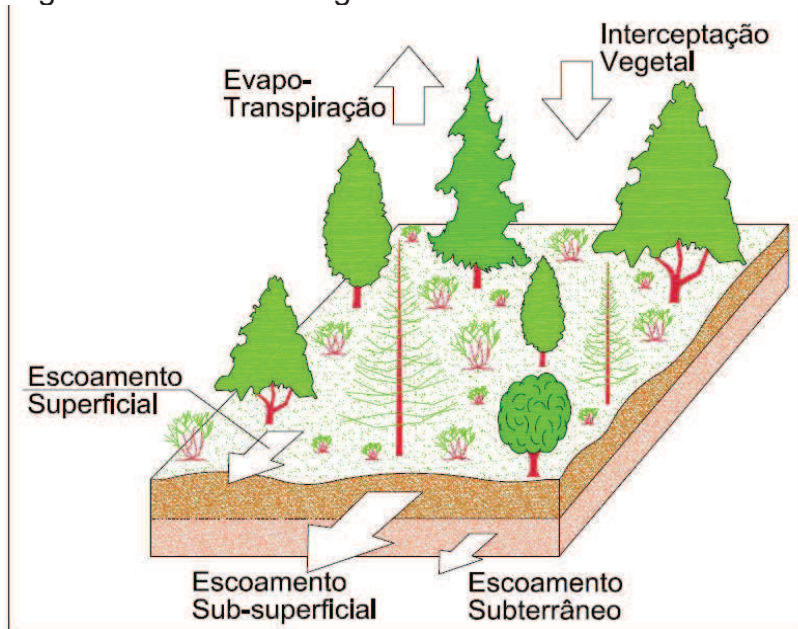
De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, a água precipitada na superfície terrestre pode seguir os diferentes caminhos, como:

- Infiltrar e percolar no solo, ou nas rochas, podendo formar aquíferos ou não, e reaparecer na superfície na forma de nascentes, fontes, pântanos, ou alimentar rios e lagos;
- Escorrer vagorosamente entre as partículas e espaços vazios dos solos e das rochas, podendo ficar contida por um período muito variável, formando os aquíferos;
- Escoar sobre a superfície, especificamente, em situações que a precipitação é maior do que a capacidade de absorção do solo;
- Evaporar tornando à atmosfera. Em adição a essa evaporação da água dos solos, rios e lagos, uma parte da água é absorvida pelas plantas. Essas, por sua vez, liberam a água para a atmosfera por meio da transpiração. A esse conjunto, evaporação mais transpiração, dá-se o nome de evapotranspiração;
- Congelar desenvolvendo as camadas de gelo nos picos de montanha e geleiras.

A exploração desordenada da mineração na região provocou desmatamentos, depósitos volumosos de rejeitos sem tratamento e inúmeras áreas degradadas, que contribuíram significativamente com as alterações do ciclo da água. Vale ressaltar, que ainda após a recuperação dessas áreas, esta estará contribuindo com as alterações do ciclo hidrológico, tendo em vista, que o solo com rejeito/estéril deverá estar impermeabilizado e, portanto, impedindo as condições naturais de percolação e infiltração da água no solo. Esses fatores causam impactos ambientais, os quais afetam o ciclo hidrológico conforme pode ser visualizado nas Figuras 1 e 2,

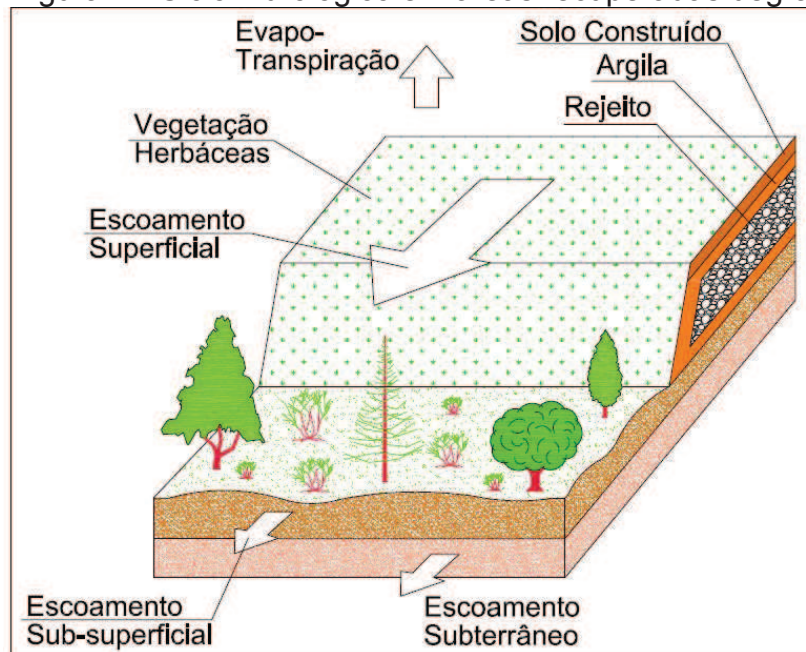
as quais correspondem respectivamente ao ciclo hidrológico natural e ciclo hidrológico em áreas recuperadas/degradadas.

Figura 1 - Ciclo hidrológico natural.



Fonte: Elaborada pela Autora.

Figura 2 - Ciclo hidrológico em áreas recuperadas/degradadas.



Fonte: Elaborada pela Autora



## 5.1 DANOS AMBIENTAIS CAUSADOS

Decorrente das atividades de mineração de carvão, que trouxe vários impactos negativos a região, são apresentados a seguir os principais danos ao ciclo hidrológico.

### 5.1.1 Acúmulo de sedimentos

A impermeabilização inibe o processo natural de infiltração e aumenta a velocidade do escoamento superficial, já que diminui a rugosidade de superfície. Como consequência, aumenta a lâmina de escoamento superficial e intensifica a capacidade de transporte de maiores cargas poluidoras (DIAS; ANTUNES, 2010). Tendo como efeito o assoreamento dos recursos hídricos e dos canais, diminuindo a vazão em períodos chuvosos. Além de propiciar acúmulo de poluentes aos sedimentos transportados, contaminando os corpos d'água. O poluente mais preocupante nas áreas em processo de recuperação é o rejeito com presença de pirita, pois sua reação provoca danos elevados à vida.

### 5.1.2 Poluição das águas superficiais e subterrâneas

De acordo com CEUFRGS (2000) o poluidor mais agravante dos recursos hídricos na mineração de carvão é a geração da DAM - Drenagem Ácida de Mina, decorrente do processo de beneficiamento que torna as águas impróprias para consumo. Esse processo ocorre porque a oxidação do material piritoso provoca uma expressiva carga de acidez, causando a solubilização de vários metais pesados. Os contaminantes mais frequentes de uma DAM gerada na mineração de carvão são: ferro, cobre, zinco, chumbo, manganês, cromo, alumínio, estrôncio e níquel – enquanto nas águas subterrâneas - ferro, cobalto, manganês, níquel, zinco, alumínio e cobre.

Na região carbonífera, dentre os aquíferos subterrâneos existentes, pode-se destacar o aquífero Rio Bonito composto de arenitos porosos e permeáveis, cuja recarga nas áreas de afloramento dá-se por infiltração direta, ou seja, pelas precipitações, através de solos residuais e transportados (Krebs, 2004).

A pirita está presente na composição do rejeito de carvão, os quais estão acumulados em pilhas e necessitam ser confinados de tal modo que não permita o contato com a água e o oxigênio. Este é o princípio de qualquer recuperação ambiental nas áreas degradadas pela exploração de carvão, sendo que a drenagem tem papel fundamental na manutenção deste princípio, já que realizará o controle das águas pluviais que o terreno recebe, impedindo a ocorrência de processos erosivos que possa expor o material contaminante.

## **6 ESTUDOS HIDROLÓGICOS**

A hidrologia estuda os comportamentos e a interação da água com o meio ambiente. É aquela que avalia as propriedades, fenômenos e distribuição da água na atmosfera, na superfície terrestre e subterrânea.

### **6.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

A hidrologia de superfície aborda exclusivamente do escoamento superficial, em outras palavras, do movimento da água sobre o solo. Seu intuito está relacionado com a disciplina dos processos físicos, bem como, a precipitação, o escoamento superficial e seu desenvolvimento ao longo dos recursos hídricos (PINTO, 1976).

#### **6.1.1 Aspectos relacionados a chuvas intensas**

As chuvas intensas consistem em eventos extraordinários e extremos, com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma área ou bacia hidrográfica. A intensidade da chuva pode influenciar os fenômenos erosivos no solo, enchentes nos campos rurais e urbanas, obras hidráulicas, entre outros. A disponibilidade de longas séries de precipitações é, em geral, muito mais frequente que a de vazão. O estudo das precipitações máximas é um dos caminhos para conhecer-se a vazão da enchente de uma bacia (TUCCI, 1997).

#### **6.1.2 Chuvas intensas para projeto**

A chuva de projeto é caracterizada de acordo com a intensidade pluviométrica, a qual é determinada a partir da equação IDF (intensidade-duração-frequência), conforme a Equação 1, cujos parâmetros (a,b,c,d) são obtidos através de estudos estatísticos de dados pluviográficos ao longo de um intervalo de tempo. A vazão do projeto que irá escoar será definida por esta equação (TUCCI, 1997).

$$i = \frac{a T_R^b}{(t + c)^d}$$

### **Equação 1 – Intensidade – Duração – Frequência**

Onde:

$i$  = Intensidade da chuva ( mm/h)

$T_R$  = Tempo de recorrência (anos)

$t$  = duração da chuva (minutos)

$a, b, c, d$  = parâmetros relativos ao regime pluviográfico local obtidos através de análise estatística dos dados históricos de chuva.

As relações IDF das chuvas intensas são concluídas das observações das chuvas durante um período de tempo prolongado, razoavelmente grande para que seja possível aceitar as frequências como probabilidades. Essas relações variam de local para local necessitando, assim, serem feitos estudos locais com os dados pluviométricos disponíveis, examinados periodicamente à medida que se forem acumulando novos dados pluviométricos (WILKEN, 1978).

#### **6.1.3 Tempo de recorrência (período de retorno)**

O tempo de recorrência é definido de acordo com a frequência com que uma chuva utilizada no dimensionamento venha ser igualada ou superada em um ano qualquer. Seu valor é determinado através da equação abaixo:

$$T_R = \frac{1}{(1 - R)^{1/N}}$$

### **Equação 2 – Tempo de recorrência**

Em que:

$T_R$  = Tempo de recorrência (anos)

$R$  = risco do evento de falha na obra (0 – 1)

$N$  = vida útil da obra (anos)

O período de retorno ainda está associado com a probabilidade de uma determinada obra falhar durante sua vida útil e, neste caso, está ligado ao risco de falha da obra. Adaptando a fórmula acima temos:

$$R = 100 \left( 1 - \frac{1}{T_r} \right)^N$$

### **Equação 3 – Risco de falha na obra**

(TUCCI, 1997)

Onde:

R = Risco

$T_R$  = Período de retorno (anos)

N = Vida útil da obra (anos)

O período de recorrência a ser assumido depende do tipo e da relevância da obra de engenharia a ser executada. Dessa forma, essa escolha está associada à adoção do risco que deve ser correspondente ao grau de proteção conferido a população e, a necessidade posterior de reparos da construção (DIAS; ANTUNES, 2010). No caso da mineração de carvão, os mesmos princípios devem ser seguidos para conservação dos ecossistemas, proteção a impermeabilização do rejeito/estéril quando houver e também a população ao entorno. Se o uso futuro da área considerar moradia de indivíduos e grandes estruturas esse conceito também deverá ser observado.

Salienta-se que o tempo de recorrência é diretamente proporcional a intensidade da chuva, e logo, a vazão do projeto. Assim sendo, quanto maior o tempo de recorrência, menor é o risco e, maiores são os custos da construção, do porte das obras e sua influência no ambiente.

#### **6.1.4 Vazões máximas – Método Racional**

Este método é o mais usual nos projetos de drenagem superficial, devido sua simplicidade de aplicação. O método consiste que o máximo caudal para uma pequena bacia contribuinte ocorre quando toda a bacia está contribuindo, e que este caudal é igual a uma fração de precipitação (WILKEN, 1978). A equação para método racional pode ser calculado da seguinte forma:

$$Q = \frac{C.I.A}{360}$$

#### Equação 4 – Método Racional

Onde:

Q = vazão máxima de escoamento superficial, em m<sup>3</sup>/s;

C = coeficiente de escoamento (adimensional);

I = intensidade da chuva, em mm/h;

A = área da bacia, em ha.

Segundo a Prefeitura Municipal de São Paulo (1999), devem ser tomados os seguintes princípios quando se aplica o Método Racional:

- O pico do escoamento superficial, referente a um dado local de estudo, é função do respectivo tempo de concentração, assim como da intensidade da chuva, cuja duração é suposta como sendo igual ao referido tempo de concentração;
- Os aspectos relacionados à permeabilidade da superfície da bacia permanecem constantes durante o evento da chuva;
- O pico do escoamento superficial sucede quando toda a área de drenagem, a montante do local em estudo passa a contribuir no escoamento.

##### 6.1.4.1 Restrições

No emprego desse método, existem algumas regras que precisam ser respeitadas, especialmente, quanto ao tamanho da bacia a ser dimensionada. As literaturas citam vários valores diferentes para a limitação da área, como Wilken, (1978), expõe que a experiência mostrou que o uso do método deve ser limitado a áreas com galerias e as bacias naturais com menos de 500 hectares. Já a PMSP, (1999), apresenta que esse método deve ser usado em bacias de drenagem que não apresentam complexidade e que tenham áreas de drenagem inferiores a aproximadamente 3 km<sup>2</sup>. Tucci, (1997) afirma que sua utilização é para projetos de bacias pequenas com área maior ou igual a 2 km<sup>2</sup>.

Salienta que o Método Racional oferece apenas um ponto do hidrograma do escoamento superficial, o pico. Sua utilização em bacias complexas, com

múltiplas sub-bacias, poderá resultar em vazões superestimadas, derivando em obras de drenagem superdimensionadas.

#### 6.1.4.2 Correção para tormentas infrequentes

A correção do método racional consiste na multiplicação da correspondente expressa por um fator de frequência  $C_f$ , o qual é usado para levar em conta as condições antecedentes da precipitação.

$$Q = \frac{C.I.A}{360} \cdot C_f$$

#### **Equação 5 – Método Racional Corrigida**

De acordo com Back (2006) os valores de  $C_f$  que podem ser utilizados são dados na Tabela 1 a seguir, com a restrição de que o produto de  $C \cdot C_f$  não pode exceder a 1,0.

Tabela 1 - Valores de correção para Método Racional

Período de retorno	$C_f$
2 a 10	1,00
25	1,10
50	1,20
100	1,25

Fonte: Back,2006.

#### **6.1.5 Coeficiente de escoamento superficial (C)**

O coeficiente de escoamento superficial agrupa todos os subsídios necessários para se calcular o caudal que deve ser esgotado pelos condutos, observando a impermeabilidade do solo, a retenção pelas desigualdades das superfícies receptoras, e a desuniformidade da distribuição da chuva e do retardamento. Destes subsídios, o primeiro tem maior superioridade, motivo pela qual, muitos engenheiros adotavam a terminologia coeficiente de impermeabilização em lugar de coeficiente de escoamento superficial, ou de coeficiente de deflúvio, de significação mais ampla (WILKEN, 1978). Existem vários valores de coeficiente de acordo com a zona ou situação de campo, definidos por diversos autores. As

Tabelas 2, 3 e 4 trazem alguns desses coeficientes apresentados por distintos autores e instituições:

Tabela 2 - Valores do coeficiente de escoamento superficial indicados pela ASCE, citada por TUCCI, (1997).

<b>Superfície</b>	<b>Coeficiente C</b>	
	<b>Intervalo</b>	<b>Valor esperado</b>
<b>Pavimento</b>		
Asfalto	0,70-0,95	0,83
Concreto	0,80-0,95	0,88
Calçadas	0,75-0,85	0,80
Telhado	0,75-0,95	0,85
<b>Cobertura: grama solo arenoso</b>		
Plano (2%)	0,05-0,10	0,08
Médio (2 a 7%)	0,10-0,15	0,13
Alta (7%)	0,15-0,20	0,18
<b>Gramma, solo pesado</b>		
Plano (2%)	0,13-0,17	0,15
Médio (2 a 7%)	0,18-0,22	0,20
Declividade alta (7%)	0,25-0,35	0,30

Fonte: TUCCI, 1997.

Tabela 3 - Valores de C adotados pela prefeitura de São Paulo.

<b>Zonas</b>	<b>C</b>
<b>Edificação muito densa</b>	
- Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70-0,95
<b>Edificações não muito densas</b>	
- Parte adjacente ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60-0,70
<b>Edificações com poucas superfícies livres</b>	
- Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50-0,60
<b>Edificações com muitas superfícies livres</b>	
- Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,25-0,50
<b>Subúrbios com alguma edificação</b>	
- Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção	0,10-0,25
<b>Matas, parques e campo de esportes:</b>	
- Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação	0,05-0,20

Fonte: WILKEN, 1978.

Tabela 4 - Valores de C recomendados pelo Soil Conservation Service (Continua)

<b>Declividade (%)</b>	<b>Solos arenosos</b>	<b>Solos francos</b>	<b>Solos argilosos</b>
<b>Florestas</b>			
0 - 5	0,10	0,30	0,40
5 - 10	0,25	0,35	0,50
10 - 30	0,30	0,50	0,60
<b>Pastagens</b>			



0 - 5	0,10	0,30	0,40
5 - 10	0,15	0,35	0,55
10 - 30	0,20	0,40	0,60
<b>Terras Cultivadas</b>			
0 - 5	0,30	0,50	0,60
5 - 10	0,40	0,60	0,70
10 - 30	0,50	0,70	0,80

Fonte: BACK, 2006.

### 6.1.6 Tempo de concentração

Refere-se ao o período que as águas pluviais levam para percorrer do ponto mais longe da bacia, até o ponto em concentração. O valor do tempo de concentração está acondicionado a vários fatores, especialmente, a velocidade de escoamento, do tipo de cobertura do solo, da declividade/relevo e outros elementos hidráulicos da bacia (BACK, 2006).

Existem diversas fórmulas empíricas e ábacos que calculam o tempo de concentração baseados nas características físicas das bacias tais como: declividade média, comprimento do curso principal, área de drenagem, entre outros fatores. É importante lembrar, que boa parte dessas fórmulas foram alcançadas empiricamente, para tanto, deve-se escolher a expressão que seja adequada para área do projeto, ou seja, a fórmula só vale para condições semelhantes às de sua determinação (DIAS; ANTUNES, 2010).

Adiante são apresentadas algumas fórmulas empíricas mais comuns na literatura:

*Onda cinemática* – Esta equação foi deduzida a partir das equações de onda cinemática aplicada a superfície, baseando-se na hipótese de precipitação constante igual ao tempo de concentração e na equação de Manning. Essa equação é adequada para pequenas bacias onde o método racional pode ser aplicado e a superfície é predominante (TUCCI, 1997).

$$tc = 447(n.L)^{0,6} S^{0,3} I^{-0,4}$$

#### Equação 6 – Onda cinemática

Onde:

tc = tempo de concentração;

L = comprimento do talvegue;

S = declividade do talvegue;  
 n = rugosidade de Manning;  
 I = intensidade de precipitação em mm/h.

*Federal Aviation Agency* – Desenvolvida para drenagem de aeroportos, é válida provavelmente para os casos que predomina o escoamento em superfícies de pequenas bacias (TUCCI, 1997). Onde o C é o coeficiente de escoamento do método racional.

$$t_c = 22,73(1,1 - C)L^{0,50}S^{-0,33}$$

### **Equação 7 – Federal Aviation Agency**

Onde:

$t_c$  = tempo de concentração;  
 C = Coeficiente de escoamento do método racional;  
 L = comprimento do talvegue;  
 S = declividade do talvegue;

De acordo com a PMSP (1999), a adoção de qualquer destas fórmulas deve ser precedida de análise cuidadosa para evitar, por exemplo, o equívoco de utilizar em áreas urbanas fórmulas originalmente desenvolvidas para áreas rurais. A forma mais correta de calcular o tempo de concentração é pelo método cinemático, ou seja, dividir a bacia em N trechos homogêneos e calcular a velocidade do escoamento em cada um deles. O tempo de concentração, em minutos, será dado por:

$$t_c = \frac{1}{60} \cdot \frac{\sum Li}{Vi}$$

### **Equação 8 – Tempo de concentração**

Onde:

$t_c$  = tempo de concentração em minutos;  
 $Li$  = comprimento de cada trecho homogêneo em metros;  
 $Vi$  = velocidade do escoamento no trecho “i”, em m/s.

Em áreas urbanas, o tempo de concentração pode ser dividido em duas parcelas: um tempo inicial  $t_i$ , tempo para chuva atingir a primeira boca de lobo ou

sarjeta, e um tempo  $t_t$  de translação na rede de drenagem (sarjetas, bueiros, galerias, canais, etc).

O tempo  $t_t$  deve ser calculado a partir dos parâmetros hidráulicos da rede de drenagem, pela fórmula de Manning, por exemplo, o que requer o pré-dimensionamento da mesma (PMSP, 1999).

## 7 ESTUDOS HIDRAÚLICOS

### 7.1 EQUAÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DE CANAIS

O escoamento em canais é caracterizado por apresentar uma superfície livre na qual rege a pressão atmosférica. O escoamento da água em condutos livres pode ser classificado como permanente e não permanente. De acordo com Tucci (1997) dependendo da relação entre magnitude das forças de inércia e gravitacionais, os escoamentos são também divididos em subcríticos, críticos e supercríticos. A equação utilizada para classificar é o número de Froude:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

#### Equação 9 - Fórmula de Froude

Onde:

V = velocidade característica do escoamento;

D = profundidade hidráulica;

g = gravidade.

Se  $F=1$  considera-se estado crítico, onde as forças de inércia e gravitacionais estão em equilíbrio. Quando  $F<1$  significa que o escoamento é subcrítico, assim predominando as forças gravitacionais. E por fim, quando  $F>1$  o escoamento está em regime supercrítico, onde as forças inércias prevalecem.

A literatura traz vários métodos e equações para dimensionamento de canais, livres ou forçados. No entanto, a equação mais utilizada nos projetos de drenagem urbana, bem como, nos Projetos de recuperação de áreas degradadas, é a fórmula de Manning para canais livres.

#### 7.1.1 Fórmula de Manning

Essa fórmula foi inicialmente estabelecida para os condutos livres, entretanto, também se aplica aos cálculos dos condutos forçados. Seu emprego tende a generalizar pela sua simplicidade, mas também pelas influências técnicas norte-americanas em nosso meio (AZEVEDO NETTO, 1982). Atualmente esta é a fórmula mais utilizada pelos projetistas na área de drenagens pluviais, devido à sua

simplicidade de forma e resultados satisfatórios de aplicação na prática. A sua forma principal é:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2}$$

### **Equação 10 - Fórmula de Manning**

Onde:

R= raio hidráulico (m), função do tirante hidráulico;

n = parâmetro que depende da rugosidade da parede;

V = velocidade média da água (m/s), que é função do tirante hidráulico;

J = a declividade da linha d'água em m/m.

Aplicando a equação da continuidade obtém-se a fórmula para o cálculo da vazão:

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} J^{1/2}$$

Em que A = área da seção molhada.

A área da seção do canal é função do formato do canal e suas dimensões. Existem várias fórmulas para a obtenção da área molhada que podem ser encontradas em Back (2006).

Tabela 5 - Coeficiente de rugosidade de Manning (Continua).

Natureza da parede	Condições			
	Muito boa	Boa	Regular	Má
<b>Alvenaria de pedra argamassada</b>	0,017	0,020	0,025	0,030
<b>Alvenaria de pedra aparelhada</b>	0,013	0,014	0,015	0,017
<b>Alvenaria de pedra seca</b>	0,025	0,033	0,033	0,035
<b>Alvenaria de tijolos</b>	0,012	0,013	0,015	0,017
<b>Calhas metálicas lisas (semicirculares)</b>	0,011	0,012	0,013	0,015
<b>Canais abertos em rocha (irregular)</b>	0,035	0,040	0,045	-
<b>Canais c/ leito pedregoso e talude vegetado</b>	0,025	0,030	0,035	0,040
<b>Canais com revestimento de concreto</b>	0,012	0,014	0,016	0,018
<b>Canais de terra (retilíneos e uniformes)</b>	0,017	0,020	0,023	0,025
<b>Canais dragados</b>	0,025	0,028	0,030	0,033
<b>Condutos de barro (drenagem)</b>	0,011	0,012	0,014	0,017
<b>Condutos de barro vitrificado (esgoto)</b>	0,011	0,013	0,015	0,017
<b>Condutos de prancha de madeira aplainada</b>	0,010	0,012	0,013	0,014
<b>Gabião</b>	0,022	0,030	0,035	-
<b>Superfícies de argamassa de cimento</b>	0,011	0,012	0,013	0,015
<b>Superfícies de cimento alisado</b>	0,010	0,011	0,012	0,013
<b>Tube de ferro fundido revestido c/</b>	0,011	0,012	0,013*	-

<b>alcatrão</b>				
<b>Tubo de ferro fundido sem revestimento</b>	0,012	0,013	0,014	0,015
<b>Tubos de bronze ou de vidro</b>	0,009	0,010	0,011	0,013
<b>Tubos de concreto</b>	0,012	0,013	0,015	0,016
<b>Tubos de ferro galvanizado</b>	0,013	0,014	0,015	0,017
<b>Córregos e rios Limpos, retilíneos e uniformes</b>	0,025	0,028	0,030	0,033
<b>Igual anterior, porém c/ pedras e vegetação 0</b>	0,030	0,033	0,035	0,040
<b>Com meandros, bancos e poços, limpos</b>	0,035	0,040	0,045	0,050
<b>Margens espraiadas, pouca vegetação</b>	0,050	0,060	0,070	0,080
<b>Margens espraiadas, muita vegetação</b>	0,075	0,100	0,125	0,150

Fonte: Azevedo Netto, 1982.

## 7.2 VELOCIDADES E DECLIVIDADES

Ambos os fenômenos estão associados, já que a declividade determina a velocidade do escoamento nos canais. São classificados como velocidade máxima e velocidade mínima, ou ainda, declividade máxima e declividade mínima. A velocidade de escoamento deve ser estabelecida em função do material e do revestimento das paredes e do fundo do canal, bem como, da sua inclinação.

### 7.2.1 Velocidades mínimas e máximas

Velocidades altas tende a provocar os processos erosivos nas paredes e no fundo. A erosão pode ser suavizada com o emprego das velocidades baixas, no entanto, se aplicado ao exagero, implica na construção de grandes canais. As baixas velocidades também favorecem o crescimento de plantas aquáticas e a deposição de material suspenso, além das perdas por evaporação e infiltração. Em suma as velocidades, devem ser baixas para não haver erosão no fundo e na parede, mas por outro suficientemente altas para que não ocorra as implicações citadas anteriormente (NEVES, 1979). A Tabela 6 mostra indicativo de velocidades para evitar erosões, para serem usadas como velocidades máximas em canais.

Tabela 6 - Velocidades admissíveis para evitar erosão (Continua).

<b>Material das paredes</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>
Areia muito fina	0,23 a 0,30
Areia solta, muito fina	0,30 a 0,45
Areia grossa, ou terreno arenoso pouco compacto	0,45 a 0,60

Terreno arenoso comum	0,60 a 0,75
Terreno sílico-argiloso	0,75 a 0,80
Marga, terrenos de aluvião ou detritos vulcânicos	0,80 a 0,90
Terreno argiloso compacto	0,90 a 1,15
Terreno argiloso duro, solo cascalhento comum	1,15 a 1,50
Cascalho grosso, pedregulho ou piçarra	1,50 a 1,80
Conglomerado, cascalho aglutinado, esquisto mole, rochas sedimentares moles, argila compacta dura	1,80 a 2,40
Rocha resistente	2,40 a 2,50
Concreto	4,50 a 6,00

Fonte: Neves, 1979

Os valores mínimos de velocidade são estabelecidos para impedir a deposição de materiais suspensos nos canais, evitando o assoreamento dos mesmos. A Tabela 7 apresenta valores mínimos para evitar essas obstruções nos canais.

Tabela 7 - Velocidades mínimas para evitar assoreamento

<b>Tipo do fluido</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>
Água com suspensões finas	0,30
Água transportando areais finas	0,45
Águas residuárias (esgotos)	0,60
Águas pluviais	0,75

Fonte: Azevedo Netto, 1982.

### 7.2.2 Declividade mínima e máxima

A velocidade está em função da declividade, decorrente disso se estabelece limites para inclinação dos taludes nos canais, a fim de controlar as velocidades de escoamento. Azevedo Netto (1982) apresenta valores sugestivos para o limite de declividade (conforme a Tabela 8).

Tabela 8 - Limites de declividade em canais

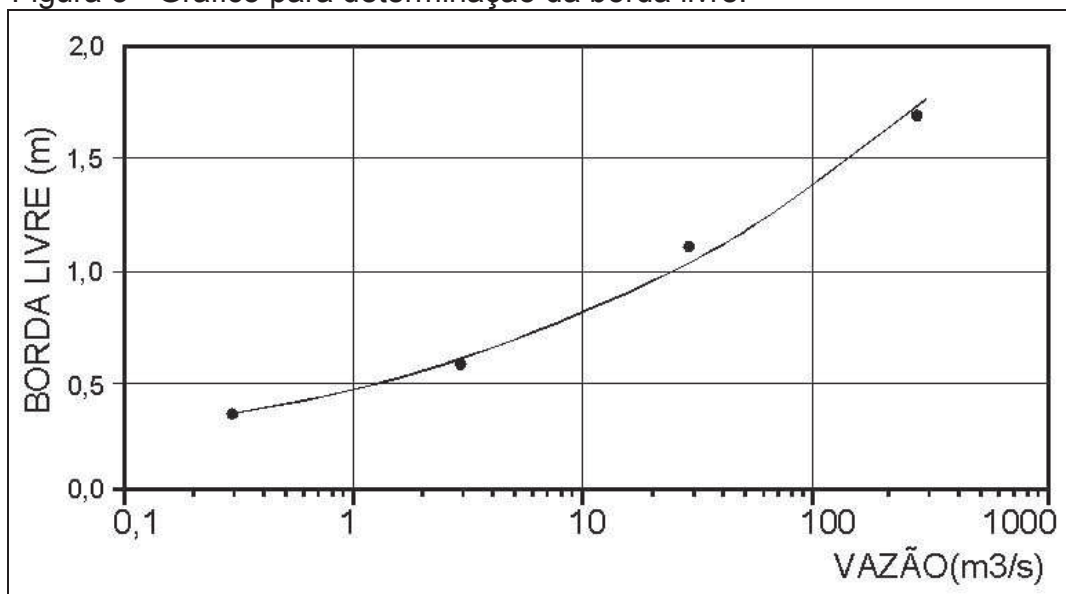
<b>Tipos de canais</b>	<b>Valores (m/m)</b>
Canais de navegação	até 0,00025
Canais industriais	0,0004 a 0,0005
Canais de irrigação pequenos	0,0006 a 0,0008
Canais de irrigação grandes	0,0002 a 0,0005
Aquedutos de água potável	0,00015 a 0,001

Fonte: Azevedo Netto, 1982.

### 7.3 BORDA LIVRE

A borda livre corresponde a uma folga que necessita ser admitida além da cota do nível máximo operacional no conduto ou canal, a fim de impedir riscos como extravasamentos por conta da ação de ondas de vento ou de embarcações, ressalto hidráulico, perdas localizadas e flutuações de vazões (USP, 2004). É comum, o uso das expressões fornecidas pelo USBR (1952) para determinação da borda livre, conforme Figura 3 abaixo:

Figura 3 - Gráfico para determinação da borda livre.



Fonte: USBR, 1952

Segundo Back (2006) não existe uma regra ou norma geral para determinar a altura da borda ou folga do canal. As literaturas normalmente oscilam entre valores de 5% a 30% da profundidade hidráulica de canal.

### 7.4 REVESTIMENTOS DOS CANAIS

Os revestimentos dos canais estão elencados com vários fatores, entre um dos mais importantes, a rugosidade. Este fator irá influenciar especialmente na velocidade do escoamento. Existem muitos métodos de revestimento, sendo os mais usados os canais de terra e de concreto. No entanto, outros métodos como grama, seixos, gabiões também são usados, tudo depende do objetivo do projeto e a situação local da obra. Abaixo são descritos a composição dos principais



revestimentos, com valores de atrito abordados pela Prefeitura Municipal de São Paulo (1999):

*Concreto* – As seções de concreto apresentam geralmente um baixo valor de fator de resistência ao escoamento. As literaturas recomendam, para revestimentos lisos com bom acabamento, valores de  $n$  variando entre 0,012 a 0,014 que correspondem a um valor de  $Ks$  da ordem de 1 a 2 mm. Tais valores são compatíveis com o tipo de acabamento de revestimento em concreto, desde que acolham a cuidados construtivos rigorosos.

*Canais de terra* – O fator de atrito para canais escavados em terra está relacionado especialmente na técnica empregada na construção, da cautela com o acabamento da obra, da sua manutenção e os cuidados com a vegetação ribeirinha. Normalmente, nas obras correntes com um bom cuidado no acabamento, pode-se ter um fator de atrito em torno de 0,030, o que retribui a uma rugosidade média de 0,22 m. A Figura 4 mostra exemplos de canais de concreto e de terra.

Figura 4 - Canal retangular de concreto e canal retangular em terra.



Fonte: Unicamp e Atlas da água.

*Enrocamento e gabiões* – São estruturas compostas de pedras de mão arrumada, matacões ou por pedras atiradas de forma organizada, que podem ser empregadas na construção de contenções, dissipadores de energia, recuperação de erosões e proteção de taludes e de obras de arte especiais (GRIBBIN, 2009). No entanto, sua aplicação é mais comum em obras de recuperação de áreas degradadas. Na construção de revestimentos com enrocamento, desde que bem edificadas podem ter o fator de atrito de Manning oscilando entre valores da ordem de 0,026 ( $d_{90} = 0,10$  m) e 0,031 ( $d_{90} = 0,30$  m). Quanto aos gabiões estes são cestos retangulares de rede de alambrado, preenchidos com pedras, semelhante a

uma gaiola. Os valores de atrito podem ser reduzidos, uma vez que o material acaba tendo um arranjo melhor, não apresentando tantas protuberâncias como ocorre com as soluções em enrocamento. A Figura 5 apresenta exemplos de canais com enrocamento de pedras e gabião.

Figura 5 - Ilustração de enrocamento de pedras e gabiões.



Fonte: Prefeitura de Angra e Geobrasil.

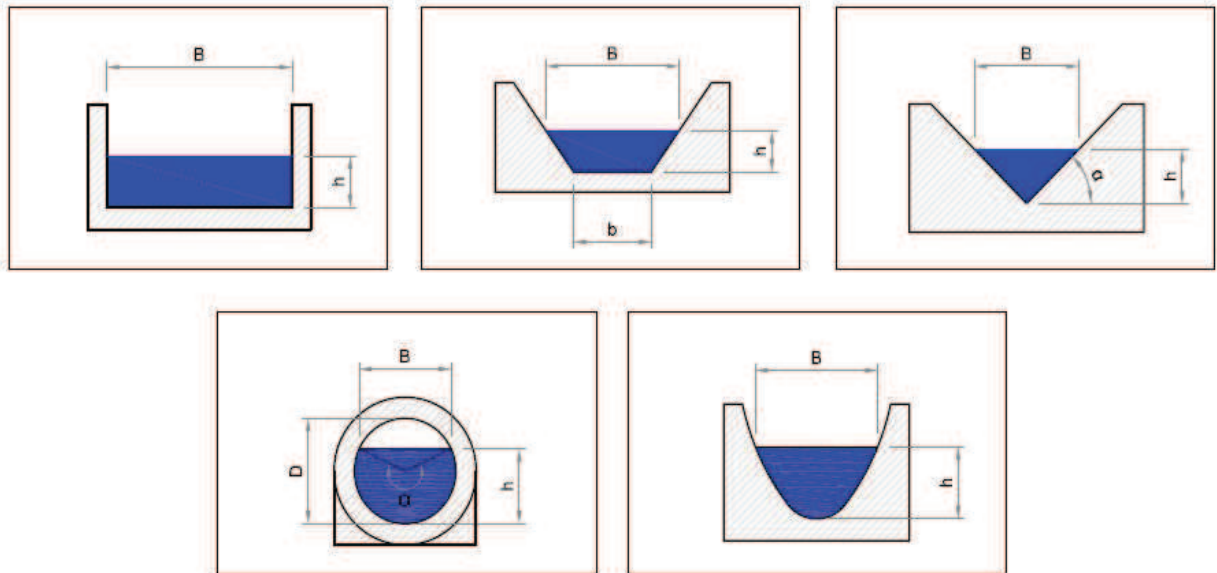
*Canais em terra com grama* – É um tipo de canal que corresponde aos canais naturais, que procura assimilar os mesmos conceitos da natureza no futuro. Existem canais com madeira, que buscam o mesmo objetivo. No entanto, os canais escavados em terra com cobertura de grama, a rugosidade não depende só da espécie plantada, contudo da condição em que é mantida. Para profundidades inferiores a 0,5 metro, deve-se adotar um fator de atrito variando entre 0,035, para gramas com alturas de 5 cm, e 0,040, para gramas com altura entre 10 e 15 cm. Na plantio de espécies gramíneas com folhas mais longas, com comprimento superior a 30 cm, sugere um fator de atrito da ordem de 0,035 para profundidades superiores a 1,0 metro e da ordem de 0,070 para profundidades inferiores a 0,5 metro. Sendo neste último caso o fator de atrito pode chegar a um valor da ordem de 0,100 para vegetação densa e longa, superior a 60 cm de comprimento.

## 7.5 FORMATO DOS CANAIS

A forma das seções transversais dos canais são muito variáveis, e podem ser divididas em seções abertas e fechadas. As seções abertas incluem semicirculares, retangulares, trapezoidais e triangulares. As fechadas contemplam

seções circulares, ovais, elípticas, ferradura, entre outras. A Figura 6 apresenta os tipos de seções mais usadas.

Figura 6 - Diferentes formas de seção.



Fonte: Elaborada pela Autora

Das formas abertas, as seções semicirculares são empregadas em calhas metálicas, madeira ou em concreto, quanto as triangulares é comum apenas em canais de pequenas dimensões. As seções retangulares e trapezoidais são as mais utilizadas, sendo que as formas retangulares podem ser somente para canais abertos em rocha, ou executados com paredes de alvenaria, concreto ou madeira. As seções trapezoidais são muito usadas para os canais abertos em terreno natural, dependendo do ângulo dos taludes e de sua da natureza. No geral ângulos maiores de  $45^\circ$  somente devem ser utilizados quando as paredes são revestidas com alvenaria, concreto ou madeira (NEVES, 1979). É mais comum o uso de seções abertas em projetos de recuperação de áreas degradadas, canais fechados são poucos utilizados, no entanto, sua aplicação pode variar do objetivo e das condições locais e topográficas.

## 7.6 CAPACIDADE DE TRANSPORTE

Constitui na quantidade máxima de sólido que um escoamento a superfície livre pode transportar. Não deve ser confundida com a competência de

escoamento, a qual indica o maior tamanho das partículas sólidas que pode arrastar (TUCCI,1997).

De acordo com o mesmo autor, para o cálculo de transporte deve-se calcular  $y_n$ , ou seja, a profundidade normal, para tal usam-se processos tabelas ou ábacos que traduzam em função da altura  $y$  as grandezas chamadas por capacidade de transporte. Estas grandezas são obtidas através de fórmulas de Chezy:

$$Q = C.A.\sqrt{Rh.i}$$

#### **Equação 11 – Fórmula de Chezy**

Ou de Manning

$$Q = \frac{1}{n}.Rh^{2/3}.i^{0,5}.A$$

#### **Equação 12 – Fórmula de Manning adaptado**

A profundidade normal é o valor de  $y$  que satisfaz a igualdade:

$$\frac{A.Rh^{2/3}}{n} = \frac{Q}{\sqrt{i}}$$

Onde:

A = área da secção transversal do canal ( $m^2$ );

Rh = raio hidráulico;

n = coeficiente de Manning (adimensional);

Q = vazão ( $m^3/s$ );

i = inclinação do fundo.

### **7.7 DISSIPACAO DE ENERGIA (BACIAS, ESCADARIAS, DEGRAUS)**

Os escoamentos supercríticos apresentam energia elevadas por conta da velocidade, sendo necessário dispor meios para dissipá-la, impedindo danos não previstos na obra. Quando o escoamento está em condições excessivas de velocidade, gera um desgaste rápido das estruturas através da abrasão, erosão e impacto. Essas forças hidrodinâmicas surgem nos descarregadores de grandes composições como barragens, adutoras, drenagem, entre outras (GRIBBIN, 2009).

Existem diversas estruturas que dissipam energia, porém, a seleção da bacia deve levar em conta uma série de fatores de projeto, especialmente custo e eficiência, entre os mais relevantes são: Desnível; Vazão específica; Características geológicas; Números de Froude; Relação entre a curva da altura conjugada do ressalto e a curva chave do rio ou conduto. Na dissipação de energia as formas mais usuais de estruturas são: bacias de dissipação devido ao ressalto hidráulico, bacias de dissipação devido ao impacto e macrorugosidades (USP, 2004).

De acordo com o mesmo autor, as escadas hidráulicas tem o mesmo objetivo da bacia dissipadora, ou seja, dissipar energia. São usadas essencialmente em obras de drenagem, para vencer desníveis em que a velocidade do jato não excede 6 m/s. Podem ser com funcionamento afogado ou livre, dependendo da condição do nível de jusante que defini a submergência.

## 8 METODOLOGIA

O presente estudo conta com três projetos reais de recuperação de áreas degradadas, os quais foram cedidos por três empresas diferentes. Para garantir sigilo quanto às informações expostas nos PRAD's e no presente trabalho, não foi identificada o nome das empresas, bem como, qualquer endereço ou informação que explicitem as mesmas. Pois, o objetivo desse estudo foi esclarecer, ensinar e orientar a acadêmica em questão, quanto aos critérios utilizados no sistema de drenagem pelas empresas da região em áreas degradadas pela mineração. Assim, para efeitos didáticos, os projetos foram tratados como: Projeto A, Projeto B e Projeto C.

A metodologia proposta para buscar os objetivos deste trabalho se preocupou inicialmente em estudar os atuais critérios de drenagem adotados nos projetos de recuperação da região. Para tanto, escolheu-se três projetos com dimensões distintas, no intuito de encontrar particularidades diferentes no terreno, como declividade, corpos hídricos, rodovias e etc., haja vista que, estas situações exigem estratégias e métodos diferenciados no sistema de drenagem. O estudo dos três projetos foi baseado nas referências bibliográficas apontadas neste trabalho, portanto, foram observados os critérios tais como: intensidade da chuva, duração, frequência, métodos de cálculos, coeficiente de escoamento, recorrência, dimensionamento hidráulico, revestimento dos canais, entre outros. Após o estudo dos respectivos projetos, aplicaram-se tabelas comparativas seguida de observações.

Além dos critérios adotados pelas empresas quanto à hidrologia e hidráulica, também foi conferido os documentos anexados em cada projeto. Verificou-se a presença de documentos tais como: obra de arte; memorial de cálculo, plantas, planos de emergência, planos de monitoramento e manutenção e outros pertinentes a hidrologia e hidráulica. Essa avaliação foi baseada na norma NBR 13029:2006 e na NBR 13030:1999, bem como, nas orientações de técnicos da área. Vale ressaltar, que a referida análise teve base apenas nos documentos cedidos (liberados) pelas empresas, assim, se os projetos selecionados portar de algum outro documento que não tenha sido apresentado (cedido), e que por sua vez, tenha constado como ausente nas observações desse trabalho, tais permanecem de fato como faltante.

É importante destacar que tais avaliações de documentos foram feitas apenas para o quesito drenagem, deste modo, a apresentação de outros documentos que não incluam esse fator não será considerada, pois não é objeto desse trabalho.

A seguir destas atividades, elaborou-se uma lista/roteiro contendo termos de referência relacionados à hidrologia e hidráulica nos projetos de recuperação ambiental. Essa lista aborda os fatores mínimos a serem considerados no sistema de drenagem e sua produção foi fundamentada na literatura especializada, artigos e orientação profissional de técnicos na área. O mesmo método foi aplicado para construção de um termo de referência para documentos anexados aos projetos.

## 9 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Após os estudos dos projetos A, B e C foi possível verificar e comparar os critérios usados na área de hidrologia e hidráulica de cada empresa, bem como, avaliar os documentos anexados aos mesmos. Os pontos mais relevantes se apresentam nas Tabelas 9, 10 e 11, permitindo a comparação dos critérios utilizados entre os projetos.

### 9.1 ESTUDOS DOS ASPECTOS DE HIDROLOGIA

A Tabela 9 apresenta os critérios mínimos de hidrologia a serem vistos nos projetos de recuperação de áreas degradadas.

Tabela 9 - Aspectos de hidrologia utilizados nos respectivos projetos

<b>Critérios</b>	<b>Projeto A</b>	<b>Projeto B</b>	<b>Projeto C</b>
<b>Chuva para projetos</b>	Equação IDF para Urussanga, (Back, 2002) dados de Pluviógrafo	Equação IDF para Urussanga(Back, 2002) dados de Pluviógrafo	Equação IDF para Urussanga(Back, 2002) dados de Pluviômetro
<b>Tempo de recorrência</b>	5 anos	25 anos	10, 20 e 50 anos.
<b>Tempo de concentração</b>	*N.C	*N.C	Método cinemático com tempo de entrada de 10 min
<b>Vazões máximas</b>	Método Racional	Método Racional	Método Racional
<b>Coefficiente de escoamento superficial</b>	0,95	0,95	Com correção 0,5 Em alguns casos 0,4 ou 0,6, fazendo a média ponderada.

Fonte: Elaborada pela Autora. \* N.C = Nada consta

Todos os projetos adotaram o Método Racional para medir a vazão máxima, de fato esta é a fórmula mais utilizada, devido a sua simplicidade. A limitação do método racional ocorre para áreas grandes, em que sua utilização tende a superdimensionar a vazão. As áreas dos projetos A, B e C são de 97,4 ha, 57,97 ha e 226,90 ha, respectivamente, onde se observa que são dimensões distintas, mas que o método racional pode ser aplicado sem maiores prejuízos, pois não



extrapola dimensões acima de 250 ha. No caso dos projetos de áreas degradadas pela mineração de carvão, o método racional parece ser o mais indicado.

Os três projetos utilizaram as equações de chuvas intensas estabelecidas por Back (2002), para Urussanga. Nos projetos A e B foram usadas as equações baseadas em dados do pluviógrafo do período de 1981 a 1994. No projeto C foi considerada a equação ajustada com base na série de dados medidos nos pluviômetros, referente ao período de 1949 a 1999. Para avaliar as diferenças entre estas equações foram calculados os valores de intensidade da chuva para períodos de retorno de 5, 10 e 20 anos e durações de chuva de 5 minutos a 120 minutos. Observa-se na Tabela 10 que para período de retorno de 5 anos essas diferenças correspondem até 40 % e para período de retorno de 20 anos as diferenças chegam a 50%. No método racional a vazão é diretamente proporcional a intensidade da chuva, assim pode-se observar diferenças significativas nas vazões somente em função da equação de chuvas intensas adotada. Nestes projetos não foi observado nenhuma discussão ou justificativa pelo uso destas equações.

Tabela 10 - Intensidade máxima da chuva (mm/h) calculada com as equações usadas nos projetos

Duração t (min)	T = 5 anos		T = 10 anos		T = 20 anos	
	Projeto A e B	Projeto C	Projeto A e B	Projeto C	Projeto A e B	Projeto C
<b>5</b>	131,9	177,9	145,1	207,4	159,7	241,8
<b>10</b>	113,5	143,5	124,9	167,3	137,5	195,0
<b>20</b>	88,7	107,1	97,7	124,9	107,5	145,6
<b>30</b>	72,8	87,5	80,1	102,0	88,2	118,9
<b>60</b>	47,3	59,5	52,0	69,3	57,2	80,8
<b>120</b>	27,7	39,1	30,5	45,6	33,5	53,1

Fonte: Elaborada pela Autora.

### *Análise do Projeto A*

O projeto A não apresentou a memória dos cálculos para medir o tempo de concentração das chuvas na bacia, somente alegou a utilização da fórmula de Kirpich (citada no referencial teórico deste trabalho). No entanto, apresentou uma tabela dividida por bacias com tempo de concentração para cada um, nos dados apresentados observou-se que o menor tempo de concentração usado foi de 10 minutos e o maior valor de tempo de concentração adotado foi de 40,6 minutos.

O período de retorno não é explícito no projeto, mas pode-se recalcular com os valores de intensidade apresentados onde se observou que o período de retorno adotado foi de 5 anos. Essa escolha é razoável por se tratar de uma área pequena, já que os sistemas de microdrenagem irão predominar. É importante ressaltar que quanto menor o tempo de recorrência, maiores os riscos de danos e mais manutenção a área deve sofrer.

O coeficiente de escoamento superficial (C) adotado foi de 0,95, sendo que a justificativa apresentada se deteve ao embasamento da aplicação de drenagem em áreas urbanas densamente ocupadas, tendo em vista, que área recuperada parte do mesmo princípio, ou seja, pela impermeabilização com revestimento argiloso. No entanto, tal coeficiente não foi referenciado com nenhuma literatura, boletins ou documentos conceituados, bem como, com nenhuma das Tabelas 2, 3 e 4 apresentadas o referencial deste trabalho. O valor  $C = 0,95$  equivale ao escoamento em superfície pavimentada com asfalto ou concreto, ou ainda para telhados. Dessa forma parece que o valor está superdimensionado, quando se considera que as áreas degradadas terão cobertura com argila e algum tipo de vegetação. Essa afirmação pode ser conferida na Tabela 2 deste trabalho, referenciada por Tucci, 1997, onde demonstra que esse coeficiente não é de fato o mais aplicável para projetos de áreas degradadas por conta do revestimento de argila e vegetação.

### *Análise do Projeto B*

Não foi mencionada em nenhuma parte do projeto a adoção do tempo de concentração para bacia. Sendo que este fator é fundamental para elaboração de qualquer projeto de drenagem, uma vez que, o tempo de concentração irá definir de forma mais precisa o tempo que as águas pluviais levaram para percorrer do ponto mais alto da bacia, até o ponto em concentração. Assim, o tempo de concentração depende das condições de topografia, tipo de escoamento superficial (se laminar ou concentrado), das condições geométricas do canal de drenagem, entre outros. O tempo de concentração irá influenciar a intensidade da chuva usada no projeto e como consequência a vazão máxima calculada. Dessa forma quanto maior o tempo de concentração, menor serão os valores de intensidade da chuva e vazão máxima. Neste projeto o tempo de concentração de 203 minutos, aproximadamente 3,4 horas

é relativamente alto e compatível com bacias de drenagem relativamente grandes. A superestimativa do tempo de concentração pode levar a subestimativas das intensidades de chuva e da vazão máxima. No entanto, a falta de informações no projeto apresentado impede de realizar uma avaliação mais precisa sobre a adequação destes valores.

O coeficiente de escoamento tomado foi o mesmo do projeto A, ou seja, 0,95, onde também não foi referenciada a nenhuma literatura. As mesmas restrições citadas no projeto A, também valem para esse projeto.

Constata-se que este foi o projeto mais limitado e deficiente, com ausência de métodos, referências, resultados e fatores essenciais para execução de um projeto de recuperação ambiental. Portanto, impossibilitou uma avaliação mais detalhada dos aspectos de hidrologia e hidráulica considerados pelos projetistas, mas em contrapartida fica demonstrada a carência que a região ainda tem com esses aspectos nos projetos de recuperação de áreas degradadas.

#### *Análise do Projeto C*

O projeto C foi um dos mais completos entre os selecionados. Apresentaram dados locais de chuvas intensas em suas fórmulas, tempo de concentração, cálculos para bueiros, entre outras estruturas hidráulicas. Ressalta que, a equação do tempo de concentração, método cinemático, empregada no projeto é um dos mais prestigiado pelos técnicos da área de drenagem. Sua aplicação é um dos mais preciso e usuais para grandes áreas impermeabilizadas, devido à facilidade em encontrar a velocidade e as distâncias de escoamento a partir do projeto da rede de drenagem. Como nesse projeto se calculou o escoamento em canais com as distâncias e a velocidade foi possível estimar o tempo de percurso com boa precisão, o que favorece o uso do método cinemático.

O tempo de recorrência foi adotado conforme a distribuição dos canais na área, assim, canais maiores e próximos a rodovias e bueiros, por exemplo, assume um tempo de retorno de 50 anos. Quando canais menores, como a microdrenagem, estes admite valores menores de 10 e 20 anos. A sensibilidade dos projetistas em avaliar os canais conforme seu entorno e sua relevância no meio, adotando valores de tempo de recorrência distinto para cada situação, demonstra que houve um

estudo inicial mais aprimorado do local, ainda que essa área propicie essas situações diferentes decorrente da sua dimensão.

O coeficiente de escoamento tomado foi  $C = 0,5$  para as áreas do projeto corresponde a valores médios para solo franco sem vegetação. Com revegetação (gramínea) relata que se pode estimar a redução para  $C = 0,4$  (20%) reduzindo as vazões no mesmo percentual. Observa que somente no projeto C realizou a correção para tormentas infrequentes multiplicando-se o valor  $C$  pelo coeficiente  $C_f$ , que se segue:  $C_f = 1,0$  para  $T = 10$  anos;  $C_f = 1,10$  para  $T = 20$  anos,  $C_f = 1,2$  para  $T = 50$  anos. No projeto A, tendo adotado período de retorno de 5 anos esta correção realmente não é necessária. No projeto B adotando período de retorno de 25 anos o  $C_f$  teria valor próximo a 1,10. Como foi adotado  $C = 0,95$  a correção ficaria limitada a  $C = 1,0$ . No entanto como já foi comentado este valor  $C = 0,95$  já parece estar superestimado.

## 9.2 ESTUDOS DOS ASPECTOS DE HIDRÁULICA

A Tabela 11 apresenta os critérios mínimos de hidráulica avaliados nos projetos de recuperação de áreas degradadas.

Tabela 11 - Aspectos de hidráulica utilizados nos respectivos projetos (Continua).

<b>Crítérios</b>	<b>Projeto A</b>	<b>Projeto B</b>	<b>Projeto C</b>
<b>Equações para dimensionamento de canais</b>	Fórmula de Manning	Fórmula de Manning	Fórmula de Manning
<b>Folga de canais</b>	9 a 24% da vazão do projeto	*N.C	0,10m
<b>Velocidade mínima</b>	Adotou velocidade entre 0,54m/s a 1,4 m/s	*N.C	Variável conforme a natureza da parede do canal.
<b>Velocidade máxima</b>	*N.C	*N.C	Para canais de terra $V_{máx} = 1$ m/s
<b>Declividade mínima</b>	Adotou declividade entre 0,1 a 0,4%	N.C Media 0,4% 0,004 m/m	Variável conforme o trecho e o formato. 0,6 %, 0,4 % e 0,2%
<b>Declividade máxima</b>	*N.C	*N.C	—
<b>Coeficiente de</b>	$n = 0,022$	*N.C	$n = 0,015$ concreto

<b>Manning</b>	Enrocamento de pedra		n = 0,020 terra n = 0,029 enrocamento
<b>Revestimentos dos canais, canaletas e etc.</b>	Enrocamento	Concreto	Concreto, terra, geotêxtil e enrocamento
<b>Formato dos canais</b>	Trapezoidal Talude 2:1	Trapezoidal, semicirculares e circulares Talude 0,5:1	Trapezoidal, semicirculares, circulares e retangulares

Fonte: Elaborada pela Autora. \*N.C = Nada Consta

Todos os projetos adotaram a equação de Manning para dimensionamento dos canais. No entanto, apenas o projeto C apontou o memorial descritivo dos cálculos para cada canal calculado.

Nos três projetos observaram-se diferenças grandes em relação ao tipo de canal indicado. No projeto A foi usado apenas canais com enrocamento de pedra, formato trapezoidal com talude 2:1. No projeto B foi adotado canal revestido de concreto com talude 0,5:1, que é um formato considerado de boa eficiência hidráulica, pois de acordo Azevedo Netto (1982), o talude indicado para canal de máxima vazão o Z é igual a 0,577. Já no projeto C foram adotados diversos tipos de formato de canal, tendo canal semicircular, canal triangular, canal trapezoidal, canal retangular e canal circular, uns com revestimentos de terra e outros em concreto.

### *Análise do Projeto A*

A folga admitida nos canais parece estar apropriada com a vazão calculada, mas seria importante que ficasse mais claro a aplicação de cada folga para cada canal, com inclusão das justificativas. A admissão da folga é um fator de segurança e deve ser considerado para evitar prejuízos futuros.

Conforme se apresentou na Tabela 11, as declividades variaram de 0,1 a 0,4 % e valores de velocidade variando de 0,54 a 1,4 m/s, que ficam dentro da faixa recomendada e são compatíveis com o revestimento proposto, evitando-se a sedimentação de material devido às baixas velocidades, bem como a danificação do revestimento pela velocidade excessiva.

O coeficiente (n) de Manning 0,022 utilizado no projeto A corresponde a canais com revestimento tipo gabião na Tabela 5 deste trabalho. Sendo que o

projeto aderiu revestimento tipo enrocamento de pedras e com formato trapezoidal, assim, o valor mais apropriado é de 0,028 que corresponde a canais com fundo em terra e talude com pedras. Essas incertezas quanto ao valor real do coeficiente de Manning poderiam justificar o uso de uma folga maior no projeto, o que compensaria o subdimensionamento. Destaca que a forma de assentamento das pedras pode modificar a rugosidade da parede, por isso é importante que se siga as especificações técnicas deste método, de modo que garanta o encaixamento ideal.

### *Análise do Projeto B*

Não se exibiu nenhuma proposta de velocidade mínima ou máxima dentro do projeto, bem como, de qualquer coeficiente de Manning. A menção do coeficiente somada com outros dados fornecidos no projeto possibilitaria o recálculo da velocidade, no entanto, com tanta falta de dados não permitiu essa verificação. Somente a declividade média de 0,004 m/m foi mencionada, que por sua vez, destaca-se que está dentro dos valores aconselháveis para formatos trapezoidais.

Ressalta que foi usado apenas um tipo de revestimento, o concreto. É possível que a escolha de um único revestimento tenha sido por conta da facilidade em construir um único método em todo o trecho. Paralisar um trecho e iniciar em outro formato e revestimento implicam em maiores trabalhos e dependendo em maiores custos também. No entanto, vale ressaltar que as escolhas de revestimentos devem ser justificadas para cada situação da obra, nem sempre é recomendado um único uso de revestimento.

Observa-se mais uma vez, que os dados disponíveis no projeto, tanto no quesito de hidrologia, como na hidráulica são muito limitados, o que dificulta muito nas análises dos critérios adotados pelos projetistas.

### *Análise do Projeto C*

O projetista adotou um valor fixo de 10 cm de folga para todos os canais, tendo em vista, que a área logo acima do perímetro molhado é relativamente grande quando comparado com as dimensões da seção molhada, especialmente os canais trapezoidais. A Figura 7 ilustra a folga admitida.

Figura 7 - Borda livre adotado no Projeto C.



Fonte: Elaborado pela Autora.

Foi demonstrado valores de velocidades máximas de acordo com o revestimento e declividade do canal, o que de fato é o mais apropriado a fazer. Este mesmo projeto apresentou um valor fixo de 1m/s para canais em terra, no entanto, não apontou valores mínimos de velocidades. Lembrando que este último projeto, foi o que adotou maiores variedades de revestimentos de canais, portanto, é o que está mais sujeito a diferentes rugosidades. A rugosidade e o mau emprego da velocidade podem facilitar a deposição de sedimentos ou a erosão, sendo dois efeitos indesejáveis no sistema de drenagem. As declividades estão de acordo com o recomendado, pois a variação de valores se teve por conta da conformação topográfica do terreno e dos limites de velocidade.

O projeto descreve que o coeficiente de Manning foi adotado conforme o revestimento do canal e mostra os cálculos de cada situação. Os valores ficam bem próximos da Tabela 5 deste trabalho, salvo, o coeficiente para concreto que varia com  $n = 0,012$ .

Este foi o projeto que apresentou maiores variedades de revestimentos e formatos, tornando o projeto mais estratégico e rico nos critérios hidráulicos. A área do projeto é ampla e conta mais particularidades no terreno, o que propicia o emprego de vários métodos no sistema de drenagem, a fim de suprir com as necessidades locais.

### 9.3 ANÁLISES DOS DOCUMENTOS ANEXADOS AO PROJETO

Após apreciação dos documentos cedidos pelos projetos, observou-se que alguns documentos fundamentais estão ausentes. A Tabela 12 demonstra tais constatações:

Tabela 12 - Documentos anexados aos projetos

	<b>Projeto A</b>	<b>Projeto B</b>	<b>Projeto C</b>
<b>Memorial de cálculo</b>	*N.C	*N.C	Consta
<b>Obras de arte</b>	*N.C	*N.C	Consta
<b>Plantas</b>	Consta	Consta	Consta
<b>Plantas de contribuição a montante</b>	Consta	Consta	Consta
<b>Plano de emergência</b>	*N.C	*N.C	*N.C
<b>Plano de monitoramento e/ou manutenção</b>	*N.C	*N.C	*N.C
<b>Ofício da Prefeitura quanto aos usos futuros</b>	Consta	*N.C	*N.C

Fonte: Elaborada pela Autora. \*N.C = Nada Consta

Nenhum dos projetos contempla planos de emergência para eventos raros. Esse documento não é muito usual e pouco cobrado pelos órgãos fiscalizadores, e não está nos critérios exigidos pelo MPF. Por isso é natural que não seja contemplado nos projetos da região, apenas grandes empresas de mineração no Brasil consideram planos de acidentes emergenciais para controle de eventuais chuvas intensas nos diques, barragens e bancadas de material contaminante. Seria extremamente interessante a inclusão desse plano nos PRAD, tendo em vista, que o projeto está norteado no confinamento integral do material contaminante, e por tal, deveria seguir as mesmas instruções dos produtos perigosos previstos na legislação. Na possibilidade da chuva calculada no dimensionamento do projeto venha ser superada ou até igualada, estes não contam com tais prevenções. Lembrando que um período de retorno de 10 anos, por exemplo, pode ocorrer em um ano qualquer, assim, poderá ocorrer em um mês, um ano ou até 10 anos a partir de seu dimensionamento, sendo que a grande questão é saber se a empresa estará preparada para tal evento. Ressalta que muito dessas áreas recuperadas contêm rejeitos confinados, portanto, se este confinamento for rompido e erodido com chuvas excessivas, terá como consequência o arraste do material contaminante para os corpos hídricos.

#### *Análise do Projeto A*

O projeto A não apresentou nenhum documento descritivo com memória de cálculo, apenas exibiu no corpo do projeto as fórmulas usadas para chuva de



projeto, vazão máxima, velocidade de escoamento, dimensionamento das pedras do enrocamento, entre outros.

Não faz menção a nenhuma obra de arte, contudo, apresenta plantas com os canais de toda bacia, inclusive, da drenagem contribuinte a montante da área.

Quanto ao plano de monitoramento e manutenção, o projeto A comenta dentro de seu texto no tópico “*medidas não estruturais*” a criação de um programa de inspeção e manutenção. No entanto, este programa não está anexo ao projeto, e dentro do exposto, não comenta sobre manutenção da drenagem, percebeu-se que tal engloba manutenção como um todo. Dentro do programa seria possível verificar quais atividades seriam realizadas e se estaria incluída manutenções a drenagem como: desobstrução dos canais, conservação das leivas na borda dos canais, sustentações de erosões nas laterais dos canais, bem como, das erosões nas bancadas e taludes, entre outros.

Todavia, destaca-se que o projeto A observou questões relacionadas ao uso futuro da área, uma vez que, conta com um ofício da prefeitura municipal local sobre os usos futuros da cidade. O projeto destinou a área para o uso industrial, agropastoril ou Unidade de Conservação de Uso Sustentável, as quais foram decididas e designadas a partir da divisão da bacia e suas características, portanto, as áreas que contém material contaminante não foram instituídas para uso industrial. Haja vista, que a construção de estruturas para constituição de loteamento e indústria implicará em perturbações que ocasione o rompimento do lacre impermeabilizante.

### *Análise do Projeto B*

Assim como o projeto anterior, não foi exibido nenhum documento com memorial de cálculo, somente se deteve a citação das equações utilizadas, especificamente, as equações de intensidade de chuva e Manning.

As obras de arte não foram observadas nesse projeto, mas incluíram plantas baixas e de perfil, bem como, de plantas com contribuição de águas pluviais a montante da área recuperada.

O projeto citou a presença de relatório geotécnico de monitoramento das infiltrações e monitoramento ambiental, porém esse anexo não estava presente ao projeto para possível conferência e avaliação. Ainda assim, este não corresponde a

planos de manutenção. Além deste, documentos oficiais do órgão municipal também estão ausentes. Faz menção dos proprietários da área e que o uso futuro é um misto de pastagens com agroindústria, tendo como argumento a ida de encontro com as atividades predominantemente desenvolvidas na região, mas não deixa descartada a possibilidade de futura implantação de pavilhões.

### *Análise do Projeto C*

Os documentos observados pelo projeto C são: Projetos de Engenharia e seus Memoriais Descritivos, onde constam: Projetos Geométricos; Projeto de Remodelagem Topográfica; Projeto de Obras de Arte (Canais de Desvio das Águas de Montante); Estudo Hidrológico; Sistema de Drenagem Superficial; e Especificação de Materiais. Além das planilhas dos perfis e das seções (Notas de serviço).

O projeto não observou planos de manutenção nas estruturas de drenagem, sendo que nos próximos 5 ou 10 anos é bem provável que ocorram chuvas intensas maiores que as consideradas no projeto. Destaca-se que ofício da prefeitura local informando sobre o uso de solo também não foi considerado.

## 9.4 TERMOS DE REFERÊNCIA EM DRENAGEM

A partir do que foi estudado nos respectivos projetos verificou-se que há uma carência quanto aos critérios mínimos a serem adotados no sistema de drenagem. Diante disso, sentiu-se a necessidade de propor alguns quesitos básicos importantes nas técnicas de hidrologia e hidráulica para projetos de recuperação ambiental, além daqueles fatores que já foram demonstrados no referencial teórico.

### **9.4.1 Termos de referência na área de hidrologia**

*Chuvas intensas* - Nas estimativas de chuva de projeto recomenda-se utilizar dados de estação pluviométrica representativa da região ou da mais próxima possível. Lembrando que a coleta de dados de chuva deve ser a mais atual possível, especificamente, atualizados a menos de 10 anos. No emprego desses dados, utilizar dados mínimos de 20 anos, tornando o cálculo mais confiável. Existem dados

de precipitação de várias estações pluviométricas com mais de 10 anos de observação, como as estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA, 2007) nos municípios de Içara, Forquilha, Siderópolis. Também se pode indicar os dados da estação meteorológica de Urussanga.

*Período de retorno* – Para obras de microdrenagem deve-se utilizar período de retorno a partir de 10 anos, garantindo maior segurança. Quando obras maiores que, por exemplo, incluem bueiros e rodovias deve-se utilizar um tempo de recorrência a partir de 25 anos. No caso de bueiros em rodovias estaduais ou federais deve-se verificar a indicação do Deinfra ou Dnit.

*Tempo de concentração* – Como neste projeto o escoamento superficial se dará parte sobre a superfície e grande parte em canais de drenagem, o tempo de concentração deve ser calculado pelo método cinemático. Como tempo de entrada recomenda-se usar o valor de 5 minutos. A adoção de diferente método deve vir acompanhada de justificativa.

*Cálculo da vazão máxima* – Utilizar o método racional para área de até 250 ha, e para áreas maiores pode-se usar outro método mais indicado, acompanhado de justificativa.

*Coefficiente de escoamento* – O coeficiente de escoamento deve ser usado baseado nas condições imediatamente após o projeto e também levando em conta as condições futuras. O coeficiente adotado deve ser baseado em valores de coeficientes existentes confiáveis no meio da hidrologia e hidráulica, como aqueles citados por autores e instituições renomados, que sofreram testes e ensaios antes de sua publicação.

#### **9.4.2 Termos de referência na área de hidráulica**

No dimensionamento dos canais de drenagem utilizar a equação de Manning. Devem-se considerar os seguintes aspectos:

*Folga de canais:* Dimensionar o canal e indicar a existência de folga. Nos canais de terra de pequena dimensão pode-se indicar uma folga de 30 % da vazão de projeto. Quando em concreto pode-se considerar uma folga menor, entorno de 10% da vazão. Ressalta que não há um entendimento geral quanto ao dimensionamento da folga nos canais, pois dependendo de cada objetivo podem-se ter critérios mais ou menos restritivos. Os critérios recomendados na literatura são

especificados mediante a uma experiência prática ou do bom senso. No entanto, é sempre bom considerar este critério como um fator de segurança nas canalizações.

*Formato do canal:* O formato dos canais estará muito sujeito as particularidades do terreno e do objetivo de cada trecho, assim, depende de elementos indispensáveis, como o espaço disponível para implantação, as características do solo de apoio, a declividade e condições de operação. O canal de seção trapezoidal simplesmente escavado com taludes gramados é muito usado na drenagem urbana por conta da sua simplicidade de execução e manutenção, bem como, pelo menor custo de implantação. Alguns canais de pequenas dimensões pode-se dar preferência para canais de forma triangular e semicircular em terra, pois facilita o operador da máquina que efetuará a manutenção das mesmas no futuro.

No projeto e memória de cálculo devem constar ainda os valores indicados dos seguintes parâmetros hidráulicos:

a) *Velocidade máxima e mínima* – Inicialmente os projetos devem observar a velocidade máxima e mínima de fluxo. A velocidade mínima para evitar assoreamento e velocidade máxima para impedir erosões nas paredes. Para um bom dimensionamento deve-se considerar uma análise do solo refinado, além de um adequado trabalho topográfico durante a execução. O formato e a rugosidade das paredes também estão envolvidos nesse fenômeno e devem ser considerados. As velocidades máximas aceitáveis também implicam na disposição longitudinal das canalizações a projetar, que estará dependente do tipo de revestimento a ser utilizado, mas que também são subordinadas as declividades possíveis de serem tomadas.

b) *Declividade máxima e mínima* – Estes fatores estão ligados diretamente aos princípios das velocidades máxima e mínima, já que seus efeitos contribuem no escoamento superficial direto. A escolha de uma declividade implicará automaticamente na velocidade.

### **9.4.3 Documentos anexados aos projetos**

Os documentos citados na Tabela 12 deste trabalho são de grande importância para a implantação do projeto executivo, uma vez que, estes têm o papel de orientação e direção para o executor, assim, quanto mais detalhado e informado o projeto tiver, menos suscetível ao risco a obra estará.

A NBR 13030:2005 considera alguns documentos básicos para projetos de recuperação ambiental, baseado nestas considerações e na necessidade dos técnicos quando a realização executiva do projeto sugerem-se no mínimo os seguintes itens:

a) Todas as memórias de cálculos, critérios de projeto e referências utilizadas;

No estudo dos três projetos selecionados verificou-se que dois destes não apresentavam memórias de cálculos, sendo um documento fundamental para avaliar os critérios e referências utilizados, bem como, para execução precisa do que foi proposto no projeto.

b) Plantas com todo o sistema de drenagem da área de influência, incluindo as drenagens de contribuição a montante, além das obras de arte;

O esboço dos canais de drenagem adotados para projeto deve estar aplicado em plantas, juntamente com as contribuições a montante das águas pluviais e corpos hídricos, tendo em vista, que essas águas podem influenciar o sistema de drenagem dimensionado. As obras de arte também devem ser citadas, uma vez que, obras especiais são usualmente encontradas nas áreas recuperadas.

c) Tabela de quantidade e serviços das obras civis;

Refere-se ao volume de material que a obra irá utilizar para as construções dos canais, como tubos de concreto, seixos, geotêxtil e qualquer outro material necessário para implantação dos mesmos. Também estão incluídos os serviços necessários para execução das obras, tais como: aluguel de máquinas pesadas, mão de obra, medições topográficas, entre outros. Esses têm por finalidade quantificar e orientar o executor quanto às necessidades de insumos e serviços exigidos pelo projeto.

d) Procedimentos de inspeção de campo e monitoramento da área, advertindo os elementos a serem monitorados, a frequência da inspeção de campo e das leituras dos instrumentos e os critérios de análise alcançados;

O projeto deve adotar um sistema de controle de todos os materiais que recebe na obra, por meio de inspeção e monitoramento dos produtos, a fim de conferir a eficiência e qualidade dos mesmos. A obra pode contar com colaboradores para acompanhar e monitorar a execução da obra, especialmente se a área for grande, através de instrumentos, *check-list* e manuais didáticos. Claro,

que os engenheiros e mestre de obras já têm esse papel, no entanto, quanto maior o número de fiscalizadores melhores também serão os resultados.

e) Plano de manutenção após a finalização da obra, especialmente se considerar um período de retorno menor;

Esta proposta tem por finalidade, atribuir a limpeza e a conservação das canalizações, de modo que procure manter as mesmas condições iniciais de sua implantação. Algumas áreas recuperadas da região tem se encontrado em situação de abandono, uma vez que, deixam os canais assoreados e obstruídos de vegetação e alguns casos, até de resíduos. Erosões também são facilmente encontradas nessas áreas, e muitas vezes este fenômeno alcança o rejeito confinado. As Figuras 8 e 9 mostram exemplos da ausência de manutenção em algumas áreas recuperadas da região.

Figura 8 - Exemplo de canal assoreado.



Fonte: Acervo do MPF.

Figura 9 - Exemplo de processos erosivos.



Fonte: Acervo do MPF.

Por isso, a implantação de planos de manutenções periódicos se faz necessária para a conservação do sistema de drenagem. Este deve compreender a retirada dos sedimentos superficiais nos canais, bem como da vegetação e de quaisquer outros resíduos que implique na função do canal. Monitorar o solo e vegetação das laterais e topos de canais, de modo que não permita desagregação do solo e das leivas, evitando a preferência de novos caminhos e possíveis erosões. As bacias de dissipação e escadarias devem seguir estes mesmos princípios de manutenção, a fim de cumprir com os desvios, coleta e distribuição.

f) Plano de emergência para conter as substâncias contaminantes que venham a ser expostas na ocorrência de eventos raros;

Como já é de conhecimento, boa parte das áreas degradadas em processo de recuperação confinam seus rejeitos em células com material impermeabilizante (argila), de modo que não entre em contato com a água e com ar, evitando a contaminação dos metais pesados nos recursos hídricos. Entretanto, na possibilidade da chuva calculada no dimensionamento do projeto vir a ser superada ou até igualada, este confinamento estará sujeito aos fenômenos de erosões, que por sua vez, poderão romper o lacre impermeabilizante provocando o arraste do material contaminante para os corpos hídricos. As Figuras 10 e 11 ilustram claramente esses efeitos em áreas recuperadas da região.

Figura 10 - Processos erosivos com exposição de rejeito.



Fonte: Acervo do MPF.

Figura 11 - Rompimento do lacre impermeabilizante logo abaixo do canal.



Fonte: Acervo do MPF.

Esses efeitos são extremamente indesejáveis e restritos com as normas ambientais vigentes, e por serem substâncias contaminantes necessitam receber o mesmo tratamento de contingência dos produtos perigosos estabelecidos pela Resolução Conama 420, de 28 de dezembro de 2009 e outras legislações específicas. A Portaria 237 de 18 de outubro de 2001 traz no anexo as Normas Reguladoras de Mineração, onde pode ser observada no capítulo 19 da referida norma a menção de plano de emergência para áreas reabilitadas com células de rejeito, mais especificamente nos itens a seguir:



19.1.5 Os depósitos de estéril, rejeitos ou produtos e as barragens devem ser mantidos sob supervisão de profissional habilitado e dispor de monitoramento da percolação de água, da movimentação, da estabilidade e do comprometimento do lençol freático. 19.1.5.1 Em situações de risco grave e iminente de ruptura de barragens e taludes as áreas de risco devem ser evacuadas, isoladas e a evolução do processo monitorada e todo o pessoal potencialmente afetado deve ser informado imediatamente. 19.1.5.1.1 Deve ser elaborado **plano de contingência** para fazer face a essa possibilidade. (PORTARIA N° 237, 2001, NRM-19, grifo nosso).

Portanto, a obtenção desses planos de emergência não só é relevante para segurança dos corpos d'água, mas também para se manter em conformidade com o que reza a legislação.

g) Documentos oficiais do órgão municipal quanto ao uso futuro da área.

A empresa deve se informar junto com prefeitura local a disposição do uso de solo e suas condicionantes, e simultaneamente, avaliar as características de solo, declividade, confinamento do rejeito e outras particularidades, para posteriormente definir o uso ideal da área. Ressalta-se, que esta decisão deve estar acordada com o proprietário da área, visto que muito dessas áreas degradadas não são da empresa responsável pelo passivo. O proprietário deve informar o uso pretendido à autoridade competente e a empresa responsável pelo passivo, as quais poderão decidir a viabilidade ambiental, com fundamento na legislação vigente, no diagnóstico da área, na avaliação de risco, nas ações de intervenção propostas e no zoneamento do uso do solo.

É importante lembrar, que o uso futuro de áreas confinadas com rejeito deve ter uma atenção especial, pois a construção de estruturas para fins industriais e loteamentos populacionais tende a provocar perfurações no solo, o que resulta no corte da célula confinada. Por conta disso, também é recomendada a assinatura de compromisso com o Município quanto aos usos futuros indicados nos PRAD's, onde possa constar a lembrança da necessidade de averbação de eventuais restrições de uso nas respectivas matrículas dos imóveis integrantes da área a ser recuperada.

## 10 CONCLUSÃO

Com base no estudo dos projetos pode-se concluir que:

1) Do ponto de vista da Hidrologia, os projetos usaram a mesma metodologia para estimativa da vazão máxima, no entanto apresentaram diferentes critérios na adoção da chuva de projeto e nos coeficientes de escoamento que podem levar a valores significativamente diferentes de vazão;

2) Do ponto de vista da Hidráulica os projetos usaram a mesma metodologia para dimensionamento de canais. Como os valores dos coeficientes de rugosidade e os limites de velocidade ou declividade estão bem definidos na literatura, foram concebidos projetos dentro de critérios semelhantes e que podem facilmente serem justificados;

3) Nos projetos observou-se a falta de justificativa das metodologias usadas para as estimativas das variáveis hidrológicas. Em particular se destaca o tempo de concentração da bacia, fator fundamental para a estimativa da vazão de projeto.

4) Não foi observado nos projetos a presença de um item destacando a necessidade de manutenção das estruturas hidráulicas. Este item parece ser fundamental para a eficiência de um projeto de recuperação de áreas degradadas, que se caracterizam pela não presença de atividades humanas e assim os danos podem não ser observados em tempo adequado para a correção.

5) A ausência do plano de emergência foi um resultado esperado, tendo em vista, que não é um documento estabelecido pelo Ministério Público Federal nos critérios de reabilitação ambiental. No entanto, as Normas Reguladoras de Mineração citam a necessidade de implantação em ambientes com material contaminante, que por sua vez possam eventualmente ser expostos. Assim, para garantir a contenção do rejeito para os recursos hídricos este trabalho recomenda a admissão deste plano de emergência nos PRAD's futuros.

6) Observou-se que os projetos não se atentaram quanto aos usos futuros estabelecidos pelos municípios, bem como, de assinar um compromisso com a cidade local no intuito de alertar restrições de usos em áreas com células de rejeito. Apenas o projeto A tomou esse cuidado. Aconselha-se registrar os usos futuros indicados nos PRAD's nas prefeituras em que a área está localizada, além de observar as disposições do uso do solo admitido pelo município antes de decidir o

melhor uso da área.

7) Foi observado carência de material descritivo dos cálculos executados, metodologias usadas e critérios adotados.

8) Como os projetos de recuperação de áreas degradadas pela mineração do carvão são relativamente recentes, e localizados, existem poucas experiências relatadas. Também se observa que alguns coeficientes como o coeficiente de escoamento  $C$ , usado no método racional, não foi devidamente avaliado para estas áreas. Assim o projetista utiliza valores arbitrados para outras áreas, como agricultura ou área urbana, e esta incerteza pode ser fonte de erro no projeto. A necessidade de se realizar pesquisas para determinar estes coeficientes para as áreas de mineração de carvão, bem como para as mesmas áreas com o projeto de recuperação.

9) O projeto de drenagem, como todo projeto de engenharia, depende da criatividade do projetista e pode ter diferentes concepções, e assim apresentar diferentes alternativas. No entanto, as metodologias usadas no dimensionamento, os coeficientes técnicos dessas metodologias, o risco admitido devem ser baseados no Termo de Referência.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13029:2006**:  
Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13030:1999**:  
Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. Rio de Janeiro, 1998.

ALBA, José Maria Filippini. **Recuperação de áreas mineiradas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 326 p. ISBN 978-85-7383-496-3.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano, ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Manual de Hidráulica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1982. 723 p.

BACK, Álvaro José. **Hidráulica e hidrometria aplicada (com programa Hidrom para cálculo)**. Florianópolis: Epagri, 2006. 299 p. ISBN 85.88014-50-4.

CENTRO DE ECOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Carvão e meio ambiente**. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 2000. 1006 p. ISBN 8570255632

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

BRASIL. Decreto nº 97.622, de 10 de abril de 1989. **Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Diário Oficial, Brasília, DF, Seção 1. 11/04/1989. p. 5433

BRASIL. Lei 6.938 de 31 de Agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília, DF. Imprensa: Rio de Janeiro, Lumen Juris, 2005. 229 p.

BRASIL. Lei 12.651 de 25 de maio de 2012. **Novo Código Florestal**. Diário Oficial da União. Seção 1. 28/05/2012. p. 1.

BRASIL. **Medida provisória n 571, de 25 de maio 2012**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, Seção 1. 28/05/2012. p. 10.

BRASIL. Ministério do meio Ambiente. **Ciclo Hidrológico**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>>. Acesso em: 30 abr.2013.

BRASIL. **Portaria 237 de 18 de outubro de 2001**. Diário Oficial da República

Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 19/10/2001.

DIAS, Fernanda S, ANTUNES, Patrícia T.S.C. **Estudo Comparativo de projeto de drenagem convencional e sustentável para controle de escoamento superficial em ambientes urbanos**. 2010.116 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010

EMPRESA GEOBRASIL. **Gabiões galvanizados e revestidos em PVC**. Disponível em: <<http://www.geobrasil.com.br/comep.html>>. Acesso em: 20 mai. 2013.

FENDRICH, Roberto et al. **Drenagem e controle da erosão urbana**. Curitiba: Champagnat, 1997. 486 p. ISBN 85-7292-027-7.

GOMES, A. J. P. CRUZ, P. R. BORGES, L.P. **Recursos Minerais Energéticos: Carvão e Urânio**. In: Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil L.A. Bizzi, C.Schobbenhaus, R.M Vidotti e J.H Goncalves (Eds.) CPRM, Brasília, 2003. Disponível em <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/capXI\\_a.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/capXI_a.pdf)> Acesso em: 01 de mar. 2013.

GRIBBIN, John E. **Introdução à hidráulica e hidrologia na gestão de águas pluviais**. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 494p. ISBN 978-85-221-0635-6.

IPAT – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - UNESCO – Universidade do Extremo Sul Catarinense. **Diagnóstico Ambiental Campo Morozini** – Santa Catarina. Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Relatório técnico. Criciúma, 2009, 144p.

Krebs, A. S. J. **Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da porção correspondente à bacia do rio Araranguá, SC**. 2004. 376 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MILIOLI, Geraldo (Coord). **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no sul de Santa Catarina: uma abordagem interdisciplinar**. Curitiba: Juruá, 2009. 316 p.

MINAS GERAIS. **Atlas digital das águas de Minas Gerais**. Disponível em: <[http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos\\_aplicativos/predicao\\_de\\_vazao\\_em\\_pequenas\\_bacias\\_hidrograficas\\_nas\\_regioes\\_norte\\_e\\_nordeste\\_do\\_estado\\_de\\_minas\\_gerais.html](http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos_aplicativos/predicao_de_vazao_em_pequenas_bacias_hidrograficas_nas_regioes_norte_e_nordeste_do_estado_de_minas_gerais.html)>. Acesso em: 20 mai. 2013.

NEVES, Eurico Trindade. **Curso de Hidráulica**. Porto Alegre: Editora Globo, 1979. 577 p.

PINTO, Nelson L. de Souza et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blucher,

1976. 278 p.

PREFEITURA DE ANGRA DOS REIS. **Obras públicas**. Disponível em: <[http://www.angra.rj.gov.br/imprensa\\_noticias\\_release.asp?vid\\_noticia=5119&IndexSigla=IMP#.UZtsIKJNM8](http://www.angra.rj.gov.br/imprensa_noticias_release.asp?vid_noticia=5119&IndexSigla=IMP#.UZtsIKJNM8)>. Acesso em: 20 mai. 2013.

SÃO PAULO (Estado). Prefeitura Municipal de São Paulo (Fundação Centro Tecnológico de hidráulica). **Diretrizes básicas para projeto de drenagem urbana no Município de São Paulo**. São Paulo, 1999.289 p

Terceiro Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais - Grupo Técnico de Assessoramento a Execução da Sentença. Relatório Técnico. Criciúma, 2009, 312p.

TUCCI, Carlos E.M (Org). **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997. 943 p. ISBN 85-7025-298-6.

UNIVERSIDADE DE CAMPINAS. **Canalização do Ribeirão Anhumas**. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~ec517/anhumas>>. Acesso em: 20 mai. 2013.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Condutos Livres**: Notas de Aula do Curso PHD 2301 Hidráulica 1. Curso de hidráulica. São Paulo, 2004. 54 f. Notas de Aula.

U.S.BUREAU OF RECLAMATION. **Design and Constructions Manual**: Channel and related structures. Design Supplement n° 3, 1952.

WILKEN, Paulo Sampaio. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978. 477 p

