

### III-442 – REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS ATRAVÉS DA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INERTES E DE MATERIAL DE DESATERRO

**Thais Martins Vicente** <sup>(1)</sup>

Graduanda em Engenharia de Minas pela Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

[vicente\\_thais@hotmail.com](mailto:vicente_thais@hotmail.com)

**Julieta Rachelle Silva Calegari** <sup>(1)</sup>

Graduanda em Engenharia de Minas pela Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

[julietarachelle@hotmail.com](mailto:julietarachelle@hotmail.com)

**Samara Santana Menezes** <sup>(1)</sup>

Graduanda em Engenharia de Minas pela Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

[s.s.menezes@hotmail.com](mailto:s.s.menezes@hotmail.com)

**Almiro Santana Junior** <sup>(1)</sup>

Graduando em Engenharia de Minas pela Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

[a.santanna.jr@hotmail.com](mailto:a.santanna.jr@hotmail.com)

**Aida Carolina Borges Carneiro** <sup>(1)</sup>

Graduanda em Engenharia de Minas pela Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

[aida.carneiro@hotmail.com](mailto:aida.carneiro@hotmail.com)

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Campus universitário da Universidade Federal de Ouro Preto , UFOP – DEMIN , Sala 3, Morro do Cruzeiro

#### RESUMO

O trabalho apresenta a elaboração de propostas de Reabilitação de Áreas Degradadas através da disposição de Resíduos Sólidos Inertes e de Material de Desaterro. Trata-se da preparação de um manual para operacionalizar a disposição desses materiais em voçorocas, as quais são localizadas no município de Ouro Preto, Minas Gerais, e em um dos seus distritos, Cachoeira do Campo. Um dos grandes problemas enfrentados cotidianamente pelos órgãos que atuam na área ambiental é o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Isto porque ainda faz parte da realidade nacional a irregular destinação desses resíduos em locais impróprios e sem qualquer prévia análise da autoridade ambiental. Para a realização deste serviço foram necessárias as seguintes atividades: construção de mapas de localização, levantamento topográfico, levantamento geotécnico, projeto de drenagem das águas pluviais e elaboração de um manual de operação, que permitiram a avaliação da área de forma técnica e de modo a respeitar a legislação ambiental vigente, preparando as áreas para a disposição dos rejeitos estabelecidos e posterior revitalização destas.

**PALAVRAS-CHAVE:** áreas degradadas, voçoroca, aterro.

#### INTRODUÇÃO

Segundo IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o setor de Construção Civil é reconhecido como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, porém, atrelado ao seu crescimento está o aumento da geração de resíduos sólidos. De acordo com diagnóstico do Plano Integrado de Gerenciamento dos Resíduos da Construção e Demolição (RCD) no município de Ouro Preto-MG, foi estimada a geração de cerca de 30.000 toneladas de resíduos em 2007, dos quais foram recolhidos em torno de 23.000 toneladas apenas. Desta forma, aproximadamente 25% deste tipo de resíduo são depositados de forma inadequada, tendo sido identificadas 48 disposições irregulares e 15 bota-foras distribuídos por todo o município.

Este tem sido nacionalmente um grande desafio: conciliar uma atividade produtiva de tal magnitude com as condições de desenvolvimento sustentável e consciente.

Com intuito de normatizar o gerenciamento desses resíduos, entrou em vigor a Resolução CONAMA n.º 307/2002, que visa *estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais*.

Um passo fundamental para regularizar a situação descrita é estabelecer áreas e viabilizá-las de modo que tenham condições de comportar esses resíduos. Com essa finalidade as voçorocas aqui citadas se apresentam como um agente solucionador ao passo que os resíduos sólidos, devidamente tratados, desempenham este mesmo papel com relação à recuperação daquelas áreas degradadas.

## METODOLOGIA

Duas voçorocas serão objeto de nosso estudo: a primeira, que será recuperada com o desaterro proveniente da obra de um conjunto habitacional da região, localizadas em Cachoeira do Campo, um dos 13 distritos de Ouro Preto, mais exatamente na Vila Alegre. A outra voçoroca localiza-se em Santa Cruz, em Ouro Preto – município situado no estado de Minas Gerais, na latitude 20°23'08" sul, longitude 43°30'29" oeste e altitude média de 1179 metros. Os seguintes métodos foram aplicados para a realização do estudo: construção de mapas de localização, levantamento topográfico, levantamento geotécnico, projeto de drenagem das águas pluviais e elaboração de um manual de operação, que permitiram a avaliação da área de forma técnica e de modo a respeitar a legislação ambiental vigente, preparando as áreas para a disposição dos rejeitos estabelecidos e posterior revitalização destas.

## PRIMEIRA ETAPA: MAPAS DE LOCALIZAÇÃO

Para a construção dos mapas de localização das áreas degradadas, utilizaram-se imagens de satélite atualizadas em 2010, as quais foram tratadas no software ArcGis, visando ao detalhamento da localização das voçorocas. Os mapas estão na escala de 1:10000 (folha A3). Nas figuras 1 e 2, há ilustrações desses mapas:

## RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

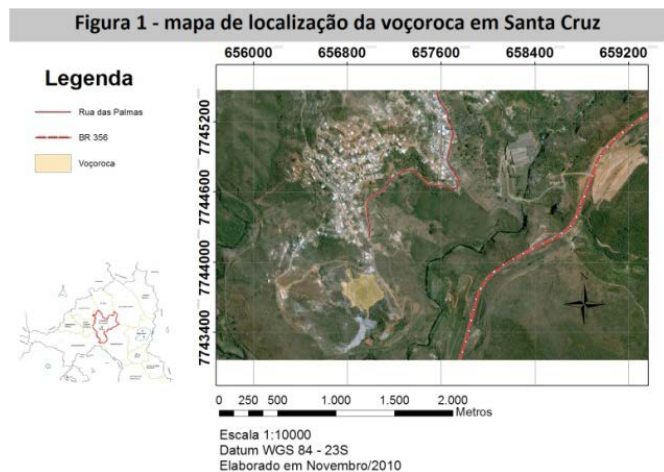
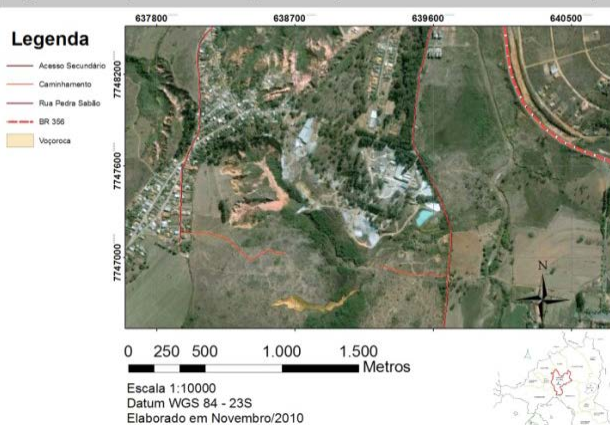


Figura 2 - mapa de localização da voçoroca em Cachoeira do Campo



## SEGUNDA ETAPA: LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Realizou-se o levantamento planialtimétrico cadastral das curvas de nível, georeferenciado, das áreas degradadas. Os pontos coletados em campo, através da Estação Total ou Taqueômetro (instrumento eletrônico utilizado para aferir ângulos e distâncias), numa escala não inferior a 1:1000. Foram plotados no *software* Topograph e tratados no *software* Surpac.

## RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

As figuras abaixo mostram a superfície natural do terreno com curvas de nível de Lírios do Campo e Cachoeira do Campo, respectivamente:

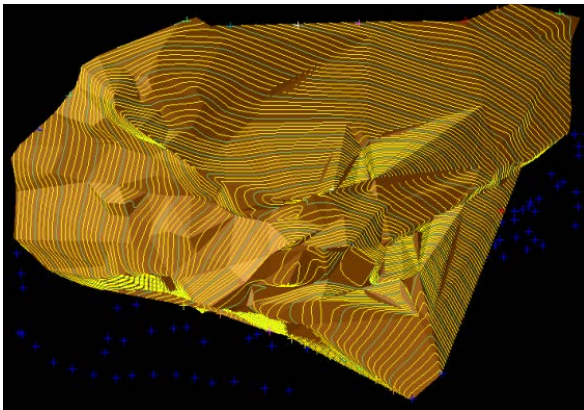


FIGURA 3: TOPOGRAFIA SANTA CRUZ

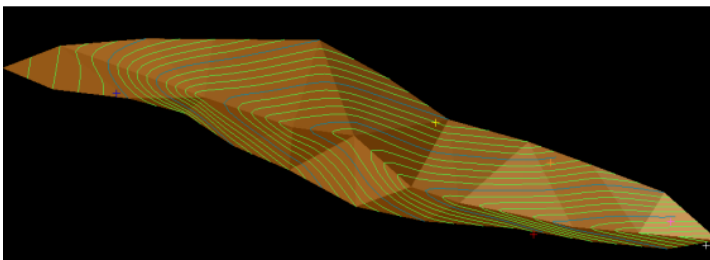


FIGURA 4: TOPOGRAFIA CACHOEIRA DO CAMPO

### TERCEIRA ETAPA: LEVANTAMENTO GEOTÉCNICO

A caracterização geotécnica foi feita a partir de ensaios de cisalhamento direto e de ensaios granulométricos. Abaixo são especificadas as operações e os procedimentos realizados para tais análises:

#### AMOSTRAGEM

Foi coletada uma amostra deformada em cada local de estudo, sendo representativa da base do talude. Nestas amostras foram realizados ensaios de caracterização do material. Foram coletadas também amostras indeformadas (uma em cada local) com o objetivo de avaliar os parâmetros geotécnicos e estabelecer correlação com os parâmetros obtidos nos ensaios anteriores.

#### CARACTERIZAÇÃO

Para a caracterização dos materiais foram realizados ensaios de granulometria e de densidade nas amostras deformadas, DSC e DCC. Os resultados são apresentados a seguir nos gráficos e tabelas.

### RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA

#### Peneiramento Cachoeira do Campo:

Massa Total (g): 190				
Abertura da Peneira (µm)	Peso Retido (g)	Frequência (%)		
		Retida Simples	Acumulada maior que	Acumulada menor que
1190	5,98	3,15	3,15	96,85
841	0,87	0,46	3,61	96,39
595	3,51	1,85	5,45	94,55
420	3,9	2,05	7,51	92,49
298	19,2	10,11	17,61	82,39
210	25,12	13,22	30,83	69,17
149	24,85	13,08	43,91	56,09
105	15,59	8,21	52,12	47,88
74	7,92	4,17	56,28	43,72
53	1,06	0,56	56,84	43,16
37	7,64	4,02	60,86	39,14
<37	74,36	39,14	100	0,00

#### Peneiramento Santa Cruz:

Massa Total (g):	154,2
---------------------	-------

Abertura da Peneira ( $\mu\text{m}$ )	Peso Retido (g)	Frequência (%)		
		Retida Simples	Acumulada maior que	Acumulada menor que
6730	6,79	4,40	4,40	95,60
3360	2,86	1,85	6,26	93,74
2380	2,31	1,50	7,76	92,24
1680	1,75	1,13	8,89	91,11
1435	0,54	0,35	9,24	90,76
1190	0,93	0,60	9,84	90,16
1074	0,45	0,29	10,14	89,86
841	1,18	0,77	10,90	89,10
595	0,6	0,39	11,29	88,71
420	1,01	0,65	11,95	88,05
280	3,12	2,02	13,97	86,03
210	6,32	4,10	18,07	81,93
149	10,21	6,62	24,69	75,31
105	13,47	8,74	33,42	66,58
74	8,68	5,63	39,05	60,95
53	1,52	0,99	40,04	59,96
37	10,69	6,93	46,97	53,03
<37	81,77	53,03	100,00	0,00

## PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA

Para se estabelecer os parâmetros de resistência do material foram realizados ensaios de cisalhamento direto em corpos de prova obtidos a partir das amostras indeformadas.

### ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO

Considerando-se os valores máximos de tensão de cisalhamento alcançado em cada ensaio, para diferentes tensões normais, plota-se a envoltória de resistência, no espaço tensão cisalhante versus tensão normal, a qual é obtida através de uma regressão linear.

Da envoltória de resistência são obtidos os parâmetros de resistência coeficiente linear e coeficiente angular.

Para realização do ensaio de cisalhamento direto foram utilizadas as amostras IOP e ICC. Delas foram tirados os corpos de prova, os quais foram submetidos às três fases acima explicadas.

A preparação desses corpos de prova foi efetuada em ambiente com temperatura e umidade controlada. O corpo foi moldado nas dimensões da caixa de cisalhamento, com a utilização de aparelhagem adequada e com mínimo de perturbações durante o processo. Posteriormente, a amostra foi introduzida na caixa contendo um conjunto composto por pedra porosa, papel filtro e placa ranhurada, na base e outro no topo, com sequência invertida, fechando o sistema com cabeçote metálico.

Em CP1, CP2 e CP3 foram realizadas as três fases do ensaio: umidificação, adensamento e cisalhamento.

Seguem abaixo os gráficos de resultados:

### GRÁFICO TENSÃO CISALHANTE x DESLOCAMENTO

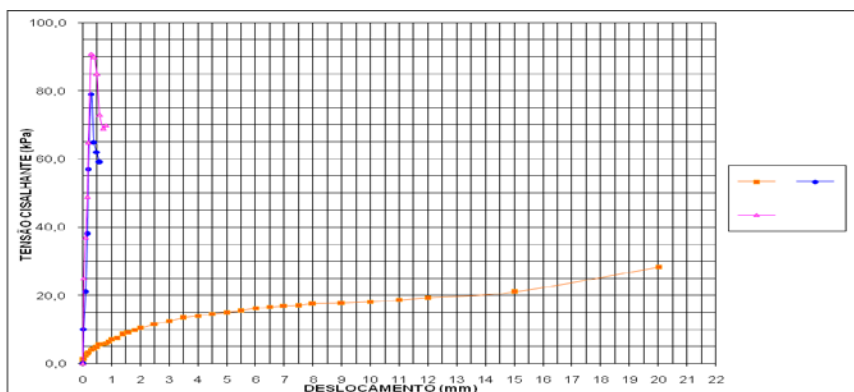
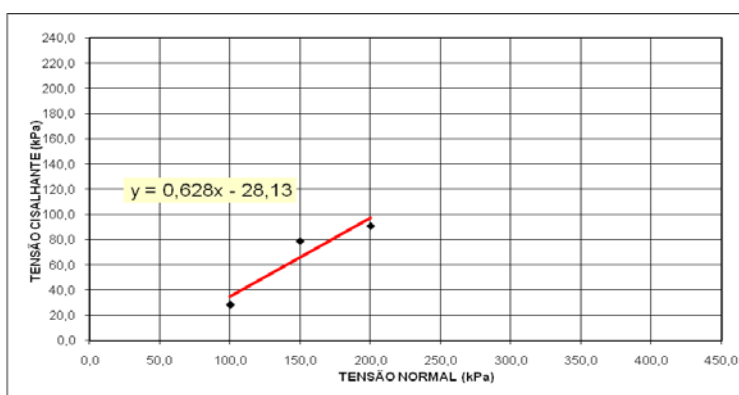


GRÁFICO DA TENSÃO CISALHANTE x TENSÃO NORMAL



## QUARTA ETAPA: DRENAGEM

### SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL

a) Indicação das vazões de dimensionamento;

A vazão de projeto é um dado fundamental para que seja realizado um dimensionamento correto dos canais que servirão a drenagem de determinada área. Para se chegar ao pico de vazão das áreas estudadas, será adotado o método racional, visto ser este o método mais difundido na prática de determinações de pico de vazão em pequenas bacias. A literatura classifica como bacias pequenas as que apresentam áreas menores que 5 km<sup>2</sup> e tempo de concentração menor que 1 hora.

Assim sendo, o método racional nos diz que a vazão numa seção qualquer da bacia será dada por:

$Q$  = vazão de pico (m<sup>3</sup>/s);

$A$  = área drenada (Km<sup>2</sup>);

$i$  = precipitação média máxima sobre toda a área drenada (mm/h);

$C$  = coeficiente de escoamento superficial (adimensional).

Para estimar a precipitação média máxima da área em Santa Cruz utilizou-se a seguinte fórmula:

Onde:

$a = 0,115$  (por interpolação)     $b = 0,15$      $t = 10$  min (0,1666 horas)     $T = 5$  anos

$R = 1,024$      $P = 16,33$  mm     $i = 98,04$  mm/h

Área drenada na voçoroca Santa Cruz = 0,036825 km<sup>2</sup>

Portanto a vazão calculada para a área é de  $Q = 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$

Para o cálculo da precipitação média máxima na área de Cachoeira do Campo utilizou-se o mesmo método, portanto obtemos os seguintes valores:

$a = 0,122$     $b = 0,15$     $t = 15 \text{ min (0,25 horas)}$     $T = 5 \text{ anos}$

$R = 1,036$     $P = 20,2 \text{ mm}$     $i = 80,82 \text{ mm/h}$

Área drenada para voçoroca Cachoeira do Campo = 0,017765 km<sup>2</sup>

Obtendo uma vazão de  $Q = 0,32 \text{ m}^3/\text{s}$

Para drenar os taludes são usadas canaletas de pé, para que a água proveniente de chuvas não empasse no pé talude acarretando em um processo de instabilidade. Canaletas são canais de pequenas dimensões, podendo ou não ser revestidas, com o objetivo de captar águas superficiais, e normalmente são encontradas em seções transversais trapezoidal ou circular.

Com base nos dados apresentados no item “6.4.5.5 a)” foi possível chegar à vazão de pico do local onde será construída a pilha e dimensionar os canais através do método das tentativas. A fórmula de Manning devido a sua simplicidade e também à quantidade de dados experimentais existentes que permitem estimar o coeficiente de rugosidade é a fórmula mais utilizada no dimensionamento de canais.

Onde:

$V$  = velocidade média do escoamento (m/s);

$R$  = raio hidráulico do canal (m), sendo  $R=A/P$ , onde  $A$  (área da seção molhada) e  $P$  (perímetro molhado);

$J$  = declividade do fundo do canal (m/m)

$n$  = coeficiente em função da rugosidade das paredes e do fundo do canal.

Pela equação da continuidade temos que:

Onde:

$Q$  = vazão escoada no canal (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = área molhada da seção transversal (m<sup>2</sup>)

$V$  = velocidade média do escoamento (m/s)

Igualando a equação de Manning com a equação da continuidade temos que:

Sendo a vazão calculada pelo método racional e o raio hidráulico e a área molhada da seção transversal pela tabela 1. O coeficiente de Manning é facilmente determinado com auxílio de tabelas e a declividade é dada em função da vazão.

Através das tentativas, supõe-se algum valor para a largura do topo e chega-se ao valor para a altura da seção molhada do canal a qual respeita a igualdade da seguinte equação:

O dimensionamento do diâmetro ( $D$ ) e da altura ( $h$ ) da canaleta de drenagem é apresentado Tabela a seguir:

Área Santa Cruz

$D = 0,6 \text{ m}$     $h = 0,3 \text{ m}$     $A = 0,141368 \text{ m}^2$     $P = 0,94245 \text{ m}$     $n = 0,013$

$J = 0,06034$     $R = 0,15$     $Q = 0,754113 \text{ m}^3/\text{s}$

Área Cachoeira do Campo

$D = 0,43 \text{ m}$      $h = 0,215 \text{ m}$      $A = 0,072608 \text{ m}^2$      $P = 0,675423 \text{ m}$

$n = 0,013$      $J = 0,061$      $R = 0,1075$      $Q = 0,311873 \text{ m}^3/\text{s}$

Portanto, adota-se canaletas para Santa Cruz com diâmetro de 60 cm e de altura de 30 cm. Já para Cachoeira do Campo o indicado são canaletas com diâmetro 43 cm e altura de 21,5 cm. Os comprimentos totais das canaletas são apresentados a seguir:

Comprimento de canaletas para Santa Cruz: 1850 metros.

Comprimento de canaletas para Cachoeira do Campo: 47 metros.

b) Indicação do tipo de revestimento (quando existente) dos dispositivos, com especificação do material utilizado;

Segundo o caderno de encargos da SUDECAP, as especificações técnicas para a utilização das canaletas, são as seguintes: o terreno de fundação deverá ser regularizado e apilado (pilar, socar, compactar) manualmente. O concreto deve ser constituído de cimento Portland, agregados e água, com resistência (fck) mínima de 15 MPa para concretos moldados “in loco”.

c) Indicação dos locais de descarga da água coletada pelos dispositivos;

Na área da voçoroca em Santa Cruz, a água proveniente da drenagem será escoada para uma boca de captação de água localizada ao lado da linha do trem que passa perto ao local estudado, com destino ao Ribeirão do Funil.

Já as águas captadas e drenadas da área de Cachoeira do Campo, serão levadas até ao deságüe seguro a um córrego bem próximo do local.

#### LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

Para o acompanhamento do comportamento e sentido do fluxo de escoamento preferencial do aquífero, no empreendimento deverão ser construídos 4 poços de monitoramento, sendo um a montante e três a jusante de cada uma das pilhas.

### QUINTA ETAPA: MANUAL DE OPERAÇÃO

#### CONDIÇÕES DE IMPLANTAÇÃO

Para a avaliação da adequabilidade de um local a estes critérios, os seguintes aspectos devem ser observados:

a) geologia e tipos de solos existentes

Santa Cruz

A geologia da área em estudo é marcada de diferentes rochas da Formação Cercadinho, Fecho do Funil e Sabará do Super Grupo Minas (Barbosa, 1969).

Cachoeira do Campo

A voçoroca em estudo encontra-se no Complexo Metamórfico do Bação, situado na porção central do Quadrilátero Ferrífero, que cobre uma área de aproximadamente 385 km<sup>2</sup> e aparece como uma janela estrutural do embasamento cristalino, sendo bordejado por uma sequência vulcanossedimentar de idade Arqueana e sequência metassedimentar de idade Proterozóica. Em algumas zonas destacam-se na paisagem as grandes ravinas e voçorocas. Estas formas erosivas e processos correlatos representam um excelente exemplo de evolução geomorfológica atual, mas são responsáveis por uma série de problemas, como perdas de terras, assoreamento de cursos d'água e risco à população local.

**b) hidrologia****SANTA CRUZ**

A hidrologia do terreno é composta pela sub-bacia do Rio do Carmo que possui o Ribeirão do Funil como um dos seus formadores. O Ribeirão do Funil nasce na Serra do Bacia do Funil abrange uma área de 59 km<sup>2</sup> e possui a forma ligeiramente alongada. As principais sub-bacias contribuintes do Ribeirão do Funil são a do Córrego Tripuí e as dos córregos que nascem na serra do Itacolomi pela margem direita. Pela margem esquerda, contribuem apenas pequenos córregos que nascem na Serra do Veloso, como o Córrego Passa Dez e o Córrego Taquaral. O Ribeirão do Funil cavou uma garganta estreita entre as cristas da Serra do Itacolomi e da Serra do Veloso.

**CACHOEIRA DO CAMPO**

A rede hidrográfica é composta pelos afluentes da cabeceira do rio Maracujá, sendo esse um dos grandes tributários da margem esquerda do alto rio das Velhas. Os principais córregos que drenam a região são os córregos Holanda e Mango. Estreitas planícies de inundação se formam nesses cursos, com os canais ganhando padrão meandrante.

**c) vegetação****SANTA CRUZ**

A vegetação da bacia classifica-se como vegetação Rupícula Montana- VRM, onde estão incluídas os campos rupestres sobre afloramentos quartzíticos (solos muito rasos) e a vegetação sobre formações ferruginosas, ou canga. A VRM, por estar associada a áreas de altas declividades em montanhas, geralmente esta incluída nas áreas de preservação permanente, em acordo com a legislação ambiental.

**CACHOEIRA DO CAMPO**

A vegetação primária variava entre a de campos limpos e cerrados, mas atualmente a área do entorno da voçoroca está ocupada por pastagens degradadas.

**d) Área e volume disponíveis e vida útil**

A área da voçoroca próxima a Santa Cruz disponível para o aterro compreende uma área de 36.825m<sup>2</sup> com perímetro do cerco de 815.854m e será preenchida com uma pilha de 430.000m<sup>3</sup> de volume.

A área da voçoroca de Cachoeira do Campo disponível para o aterro compreende uma área de 17.765m<sup>2</sup> com perímetro do cerco de 433.244m e será preenchida com uma pilha de 10.870 m<sup>3</sup> de volume.

**e) distância dos núcleos populacionais**

Os núcleos populacionais mais próximos dos aterros de Santa Cruz e de Cachoeira do Campo se encontram respectivamente a 20m e 250m de distância.

**CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO****A)Recebimento de resíduos no aterro**

Somente devem ser aceitos no aterro os resíduos de construção civil e os resíduos inertes, como mencionados.

**b) Triagem dos resíduos recebidos**

Os resíduos devem ser previamente triados, na fonte geradora, em áreas de transbordo e triagem estabelecidas no próprio aterro, de modo que nele sejam dispostos apenas os resíduos de construção civil classe A ou resíduos inertes.

Os resíduos de construção civil das classes B, C ou D devem ser encaminhados a destinação adequada.

Os resíduos classificados como classe D devem ser armazenados temporariamente protegidos de intempéries.

c) Disposição segregada de resíduos

Os resíduos devem ser dispostos em camadas sobrepostas e não será permitido o despejo pela linha de topo. A disposição dos resíduos deve ser feita de forma segregada, de modo a viabilizar a reutilização ou reciclagem futura.

Devem ser segregados os solos, os resíduos de concreto e alvenaria, os resíduos de pavimentos viários asfálticos e os resíduos inertes.

d) Procedimentos para registro da operação

Deve ser mantido na instalação, até o fim da vida útil e no período pós-fechamento, um registro de operação com as seguintes informações:

- descrição e quantidade de cada resíduo recebido e a data de disposição (incluídos os CTR);
- no caso de reservação de resíduos, indicação de onde o resíduo foi disposto;
- descrição, quantidade e destinação dos resíduos rejeitados;
- descrição, quantidade e destinação dos resíduos reaproveitados;
- registro das análises efetuadas nos resíduos;
- registro das operações realizadas e dos incidentes ocorridos e respectivas datas;
- dados referentes ao monitoramento das águas superficiais e subterrâneas.

O registro deve ser mantido no caso de alteração da titularidade da área ou empreendimento e para eventual apresentação de relatórios.

## CONCLUSÕES

Ao estudar as áreas abordadas neste artigo, constatou-se a viabilidade da utilização destas para aterro de resíduos inertes, visando a diminuir os pontos clandestinos de descarte e servir de aterro para os resíduos gerados pela Prefeitura Municipal de Ouro Preto. O Manual de Operação prevê também a revitalização da área após a sua exaustão com revegetação e utilização da mesma para fins comunitários.

Tendo em vista que um dos grandes problemas enfrentados pelos órgãos atuantes na área ambiental é o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, devido principalmente ao grande número de resíduos gerados pela população e ao seu descarte em lugares impróprios, entende-se a importância deste trabalho.

Os inúmeros problemas causados pelo mau gerenciamento dos RCD como disposição inadequada em áreas degradadas, obstrução de elementos de drenagem urbana, provocando riscos de enchentes, assoreamento, obstrução e poluição de rios e córregos, poluição visual urbana, custos adicionais à administração pública, entre outros, serão atenuados de forma racional, promovendo o controle de vetores e respeitando a legislação ambiental, de modo a promover o desenvolvimento sustentável de um país como um todo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DIAS, L.E; GRIFFITH, J.J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. Recuperação de áreas degradadas. Viçosa: UFV, 1998. p.1-8
2. IBAMA. Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. Brasília: IBAMA, 1990. 96P.
3. GRIFFITH, J.J. Recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação. Viçosa: UFV, 1986, 4p.
4. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE PERFIS DE SOLO DA VOÇOROCA CEILÂNDIA - DISTRITO FEDERAL. LIMA, M.C.(1), CARVALHO, J.C.(2), PEREIRA, H.F.(3), (1)MSc. *saides@unb.br*; (2)PhD. *camapum@unb.br*; (3)PhD. *pereira2@unb.br*; Universidade de Brasília - VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão Goiânia (GO), 03 a 06 de maio de 2001.