



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



FILIPE GUARNIERI XAVIER

**ESTUDO DO POTENCIAL TECNOLÓGICO DE USO DE REJEITOS DE MINÉRIO
DE FERRO EM BLOCOS DESTINADOS PARA PARAMENTO DE ESTRUTURAS
DE SOLO REFORÇADO POR GEOSSINTÉTICOS EM OURO PRETO-MG.**

OURO PRETO - MG
2019

FILIFE GUARNIERI XAVIER
filipe.g.x@hotmail.com

**ESTUDO DO POTENCIAL TECNOLÓGICO DE USO DE REJEITOS DE MINÉRIO
DE FERRO EM BLOCOS DESTINADOS PARA PARAMENTO DE ESTRUTURAS
DE SOLO REFORÇADO POR GEOSSINTÉTICOS EM OURO PRETO-MG.**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Professora Orientadora: DSc . Wanna Carvalho Fontes

Professor Co-Orientador: DSc. Lucas Deleon Ferreira

OURO PRETO – MG
2019

X3e Xavier, Filipe Guarnieri.
Estudo do potencial tecnológico de uso de rejeitos de minério de ferro em blocos destinados para paramento de estruturas de solo reforçado por geossintéticos em Ouro Preto-MG [manuscrito] / Filipe Guarnieri Xavier. - 2019.

70f.: il.: grafs; tabs; mapas.

Orientadora: Profª. Drª. Wanna Carvalho Fontes.
Coorientador: Prof. Dr. Lucas Deleon Ferreira.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil.

1. Minério de ferro - Rejeitos. 2. Concreto pré - moldado. 3. Bloco de concreto - Contenção de encostas. 4. Reutilização. 5. Reaproveitamento. I. Fontes, Wanna Carvalho . II. Ferreira, Lucas Deleon. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br

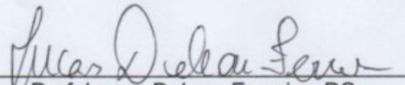
CDU: 624

**ESTUDO DO POTENCIAL TECNOLÓGICO DE USO DE REJEITOS DE
MINÉRIO DE FERRO EM BLOCOS DESTINADOS PARA PARAMENTO DE
ESTRUTURAS DE SOLO REFORÇADO POR GEOSSINTÉTICOS EM OURO
PRETO-MG.**

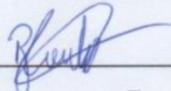
Monografia aprovada em 11 de julho de 2019 como requisito parcial para
obtenção de grau em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Ouro
Preto.



Profa. Wanna Cárvalho Fontes, DSc.
Universidade Federal de Ouro Preto
Orientadora



Prof. Lucas Deleon Ferreira, DSc.
Universidade Federal de Ouro Preto
Co-Orientador



Eng. Bruno de Oliveira Costa Couto, MS.
Instituto Federal Goiano

A Deus dedico mais esta etapa vencida, a toda minha família em especial a minha mãe, pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTO

A minha orientadora Wanna e co-orientador Lucas, pelo incentivo e orientação neste trabalho.

Aos professores do curso de engenharia civil por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

A UFOP pelo ensino de qualidade.

A FG pelo comprometimento com a vida acadêmica.

A vida republicana de Ouro Preto.

A Vizinha e aos papas da eterna República Vaticano.

“Todo aquele que trabalha para desenvolver a própria inteligência adota, de alguma maneira, uma atitude filosófica, o que torna apto para colaborar para a evolução da humanidade”.

Gabriel Chalita

RESUMO

A reutilização de rejeitos de barragens de minério de ferro (RBMF) na construção civil é uma forma sustentável de contribuir para a mitigação dos problemas da mineração. Por um lado, essa atividade gera um impacto econômico global positivo, por outro, causa danos de forma incalculável ao meio ambiente. Assim, uma possível solução seria utilizar este rejeito na incorporação de blocos de contenção, evitando deslizamentos de taludes e encostas. Ademais, encontrar uma destinação adequada para os rejeitos contido nas barragens é uma necessidade urgente, ao considerar a perda material, ambiental e de vida, em virtude de incidentes recentes ocorridos como em Mariana/MG e Brumadinho/MG. O bloco citado pode ser utilizado em obras de contenção de encostas da região de Ouro Preto (região próxima a várias barragens). Assim, para a avaliação o potencial tecnológico de uso de RBMF em blocos destinados para paramento de estruturas de solo reforçado por geossintéticos em Ouro Preto-MG, primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica das propriedades físicas e químicas do RBMF, bem como dos sistemas de contenção de encostas, em especial o supracitado. Depois foram projetadas estruturas de solo reforçado por geossintéticos com uso de blocos de concreto como paramento, por meio do software ForTerra®®, com dados reais de uma encosta localizada na região central de Ouro Preto. E, por fim, foi realizada a análise das vistas deste projeto, considerando a adoção de blocos de contenção compostos por rejeito, para verificar a sua adequação aos parâmetros normativos técnicos e legislativos especificados pelo IPHAN. Tendo em vista que Ouro Preto é uma cidade tombada e que deve seguir restrições arquitetônicas para não desconfigurar a paisagem natural e construtiva colonial. A estrutura projetada se mostrou satisfatória em questão a estabilidade e atende os requisitos do IPHAN, em virtude da tonalidade terrosa, característica do rejeito. Resultados apontam um potencial de uso tecnológico de RBMF em blocos destinados para paramentos de estruturas de contenção de encostas da região de Ouro Preto.

Palavras-chave: rejeito de minério de ferro, pré-moldado de concreto, bloco para contenção de encostas, reutilização, reaproveitamento

ABSTRACT

The reutilization of the iron ore tailings from dams (RBMF) on the civil engineering field is a sustainable way to mitigate the problems incurred by the activities of the mining industry, which generates both a positive global impact and causes incalculable damage to the environment. Therefore, one of the possible solutions would be to use these tailings in the terrae blocks, which would avoid landslides on the slopes and hillsides. However, finding an adequate way to dispose of these tailings is an urgent necessity after the catastrophes that happened recently on Mariana/MG and Brumadinho/MG. The cited blocks can be utilized in hillside contention works around the Ouro Preto region (which is near multiple dams). To evaluate the technological potential of using RBMF in blocks which will be used to wall ground structures reinforced by geosynthetics in Ouro Preto/MG, first, it was realized bibliographical research of the physical and chemical properties of the RBMF and the hillside contention systems, especially the aforementioned ones. After that, soil structures reinforced by geosynthetics were projected with concrete blocks as a baseline through the ForTerraes® software, with real data from a hillside located on the central region of Ouro Preto. Then, finally, it was realized an analysis of the findings of this project, considering the adoption of contention blocks made of tailings, to verify its adequation to the technical, legal and normative parameters, specified by the IPHAN. Knowing that Ouro Preto is a National Historical Heritage city and must follow architectural restrictions, so as to not modify its natural and colonial landscapes. The projected structure proved itself satisfactory in regards to stability and meet the requirements of the IPHAN, by virtue of the characteristic earthy tonality of the tailings. The results show potential for the technological use of RBMF in blocks destined to be the baseline of contention structures at the hillsides of the Ouro Preto region.

Keywords: iron ore tailings, concrete precasts, hillside contention blocks, reutilization

LISTA DE SIMBOLOS

RBMF- Rejeito de Barragem de Minério de Ferro

γ - Peso específico.

γ_{nat} – Peso específico natural do solo.

γ_f - Peso específico do solo de fundação.

ϕ - Ângulo de atrito do solo

C – Coesão do solo

H_w – Nível de água existente no solo.

H_t = H – Altura total do muro de solo reforçado.

B – Base do muro de solo reforçado.

Q - Sobrecarga no talude

MF-Minério de Ferro

Fe-Ferro

IBRAM-Instituto Brasileiro de Mineração

RBMF- Rejeito de Minério de Ferro

FEAM- Fundação Estadual do Meio Ambiente

DNPM- Departamento Nacional de Produção Mineral

ANM- Agencia Nacional de Mineração

FGV- Fundação Getúlio Vargas

MPF – Ministério Público Federal

PAE-Plano de Aproveitamento Econômico

FFB- Formação Ferrífera Bandadas

DNPM- Departamento Nacional de Produção Mineral

RBMF- Rejeito de Barragem de Minério de Ferro

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

FS- Fator de Segurança

IPHAN- Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

FRX - (Fluorescência de raio X)

DRX - (Difração de raio X)

MEV - (Microscopia Eletrônica de Varredura)

CFEM- Compensação financeira pela Exploração de Recursos Minerais

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Deslizamento ocorrido em 2012 na cidade de Ouro Preto, atingindo parte da rodoviária.....	13
Figura 2- Fluxograma típico do processo de beneficiamento do minério de ferro (WOLFF, 2009).	16
Figura 3 - Exemplo de Barragem de Rejeito de Minério de Ferro localizada no município de Congonhas - MG	17
Figura 4-Composição mineralógica do RBMF, identificada por DRX (SANT'ANA,2013).	20
Figura 5-MEV das matrizes dos blocos de concreto compostos por diferentes teores de rejeito (SANT'ANA,2013).....	21
Figura 6- Curva Granulométrica dos agregados. (FIOROTTI,2016)	22
Figura 7-Imagens dos blocos compostos por diferentes traços (ref, 10%, 50% e 80%), obtidas por tomografia computadorizada (SANT'ANA,2013).	26
Figura 8-Relação entre a densidade do bloco e a porcentagem de RBMF utilizada em substituição ao agregado miúdo natural (SANT'ANA,2013).....	27
Figura 9-Resistência à compressão dos blocos com substituição de agregado miúdo natural por RBMF, rompidos após 7 e 70 dias de moldagem (SANT'ANA,2013).....	29
Figura 10 - Esquema de um muro com solo reforçado.	33
Figura 11 - Zoneamento das áreas críticas que podem sofrer deslizamento em Ouro Preto. Fonte: Revista Brasileira de Geociências	34
Figura 12 - Exemplo de medida estrutural inadequada, Rua René Gianetti, Ouro Preto.	35
Figura 13-Mecanismos de instabilidade externa: (a)tombamento, (b) deslizamento, (c) capacidade de carga insuficiente e (d) instabilidade global	36
Figura 14-FS mínimos para cada caso de instabilização.	37
Figura 15-Mecanismos de instabilidade interna: (a) ruptura por tração, (b) arrancamento de reforço, (c) instabilidade na face e (d) instabilidade local.....	38

Figura 16-Ábacos para determinação de “ χ ” para o cálculo de T máx. em estruturas verticais (MITCHELL,1994).	40
Figura 17-Tipos de paramento. A- Pedra de mão B- Argamassas Lançadas C- Blocos pré-moldados D- Vegetação.....	41
Figura 18-Valores das categorias de muro, mostrando as relações custo por altura (KOERNER,1998).	42
Figura 19-Muro com plantas no seu escalonamento.....	42
Figura 20-Muro feito com blocos Terrae, blocos de paramento produzidos pela empresa Huesker Fonte: Empresa Huesker.	44
Figura 21-- Propriedades dos blocos fornecida pelo fabricante Huesker. Fonte: Empresa Huesker.....	45
Figura 22-Execução de um muro (A)Abertura da vala (B)Camada de concreto (C)Colocação dos blocos. (D) Preenchimento da vala com solo. (E)Nivelamento e limpeza dos blocos. (F)Colocação das Mantas. (G)Afastamento para a drenagem. (H)Preenchimento do bloco. (I)Bloco Final.....	47
Figura 23-Levantamento da região onde contem a encosta, afim de se obter as medidas reais do terreno, medidas feitas com teodolito	48
Figura 24-Patologias encontradas nas contenções existentes na encosta: (A) Trinca na viga Baldrame, possivelmente causada pela erosão, (B) Erosão do solo, (C) Vegetação com o caule retorcido (D) Desprendimento da Pedra de Mão do Muro existente.....	49
Figura 25 - Exemplos de execução de muros de solo reforçado.....	51
Figura 26- Dimensionamento externo com os parâmetros adotados	53
Figura 27- Parâmetros de entrada para dimensionamento interno.	54
Figura 28- Resultado do dimensionamento interno.....	55
Figura 29 - Esboço dos espaçamentos verticais da manta.	55
Figura 30- Corte longitudinal do muro	56
Figura 31- Vista Frontal do muro.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- A produção e reserva de minério de Ferro dos principais países (USGS, 2017).	9
Tabela 2- Projeção da produção de minério e rejeito de Minas Gerais e Para. Valores em milhões de toneladas por ano. (Adaptado de III CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO MINERÁRIO. Brasília, 10 maio 2017).	10
Tabela 3-Registros de movimento de massa na área urbana de Ouro Preto. Adaptado: Defesa Civil de Ouro Preto, 2010.	13
Tabela 4- Conteúdo teórico de ferro (em %) dos principais minerais portadores de ferro (CARVALHO et al., 2014).	15
Tabela 5-Média das porcentagens dos elementos químicos dos RBMF, identificadas por FRX (SANT'ANA,2013).	19
Tabela 6 - Teor de Umidade dos agregados (SANT'ANA,2013)	23
Tabela 7-- Resultados do ensaio de massa unitária e massa específica dos agregados – natural e RBMF (SANT'ANA, 2013).	25
Tabela 8-Relação dos materiais para produção de um bloco de paramento, respeitando as proporções propostas por (SANT'ANA, 2013).	26
Tabela 9-Percentuais de expansão dos blocos (SANT'ANA,2013).	27
Tabela 10-Teor de absorção de água em relação ao tempo exposto (SANT'ANA,2013).	28
Tabela 11 - Tipos de Geossintéticos e principais funções	32
Tabela 12-Valores típicos de rigidez relativa.	39
Tabela 13-Coeficientes de Aderência	41
Tabela 14-- Características e normalização Brasileira dos tipos de cimento. (ABCP, 2002).	43
Tabela 15- Parâmetros do solo de Ouro Preto. Adaptado de ROCHA, 2018.....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
	Objetivos.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
	Minério de Ferro	15
	2.2.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura	20
	2.2.1.3 Granulometria	21
	2.2.2.4 Resistência a Compressão	28
	2.3 Estruturas de Contenção de Encosta	29
	2.3.1 Tipos de Estrutura de Contenção	30
	2.3.2 Estrutura de solo reforçado com geossintéticos e com uso de blocos de paramento.....	31
	2.3.5 Blocos de concreto para paramento de encostas.....	41
	2.4 Materiais e propriedades de interesse do concreto.....	43
	2.5 Design dos Blocos de Concreto para paramento de contenção de encostas	44
	2.5 Processo de produção dos blocos de paramento de solo reforçado por geossintéticos	46
	3.3.1 Processo construtivo de estrutura de solo reforçado com geossintéticos e com uso de blocos de paramento	46
3	MÉTODOLOGIA ;	48
	3.1 Método de Análise da Estabilidade do Muro de Blocos de Concreto com solo reforçado com geossintéticos.	48
	3.2 Método de projeção do talude por uso do software	50
4	RESULTADOS	51
5	CONCLUSÃO	58
6	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	60

1 INTRODUÇÃO

O consumo exacerbado de recursos naturais ocorre de forma desenfreada na sociedade como todo, prejudicando o futuro das próximas gerações (PORTELLA, 2015). O processo de extração do minério de ferro gera grandes volumes de resíduos, chamados de rejeito. Estes são derivados da sobra do material lavrado, ou seja, minerais, a princípio, sem valor econômico, oriundos do processo de segregação do minério de ferro com o uso de água.

Segundo o *The Economist* (2012) o minério de ferro (MF) é a segunda *commodity* mais importante, sua principal aplicação é na produção de aço. O Brasil, é o segundo maior fornecedor do mundo de MF (IBRAM,2017). A seguir, a Tabela 1 indica a produção de minério de ferro dos principais países, nos anos de 2015 e 2016, além da porcentagem de Fe presente nas suas reservas brutas.

	Produção Mineral (milhões de t)		Reservas (milhões de t)	
	Minério		Minério Bruto	Fe(%)
	2015	2016		
Austrália	817	825	52000,00	44
Brasil	397	391	23000,00	52
China	375	353	21000,00	34
Índia	156	160	8100,00	64
Rússia	101	100	25000,00	56
África do Sul	73	60	1200,00	64
Ucrânia	67	58	6500,00	35
EUA	46	41	3000,00	26
Canadá	46	48	6000,00	38
Irã	27	26	2700,00	56

Tabela 1- A produção e reserva de minério de Ferro dos principais países (Adaptado de DNPM,2017).

No Brasil houve um aumento expressivo de geração de rejeito de minério de ferro. Nos últimos anos, a produção aumentou 114%, entre 2001 e 2015 (IBRAM, 2017). Junto a esse aumento houve um considerável acréscimo de volume de rejeitos.

Na Tabela 2 há uma projeção da produção de MF e de rejeito de minério de ferro (RBMF) até 2030, em milhões de toneladas por ano, focando nos principais estados produtores.

Ano	Produção			Rejeito		
	Brasil	MG	PA	Brasil	MG	PA
2010	298	207	86	92,2	82,8	6,9
2011	372	260	101	117,6	104	8,1
2012	398	275	110	125,3	110	8,8
2013	401	277	107	127,9	110,8	8,6
2014	386	265	105	122,4	106	8,4
2015	420	275	128	128,7	110	10,2
2016	430	283	140	142,1	127,4	11,2
2017	470	280	180	145,4	126	14,4
2018	520	280	230	149,4	126	18,4
2019	530	290	230	153,9	130,5	18,4
2020	540	300	230	173,4	150	18,4
2021	540	300	230	173,4	150	18,4
2022	550	310	230	178,4	155	18,4
2023	550	310	230	178,4	155	18,4
2024	560	320	230	183,4	160	18,4
2025	560	320	230	183,4	160	18,4
2026	560	320	230	183,4	160	18,4
2027	570	330	230	188,4	165	18,4
2028	570	330	230	188,4	165	18,4
2029	580	340	230	193,4	170	18,4
2030	580	340	230	193,4	170	18,4
Soma	10385	6212	3947	3322,3	2893,5	315,8

Tabela 2- Projeção da produção de minério e rejeito de Minas Gerais e Para. Valores em milhões de toneladas por ano (Adaptado de DNPM,2017).

A Tabela 2 indica que o volume de rejeito de Minas Gerais chega a quase um terço da produção MF do estado, mostrando a alta proporção de geração RBMF.

Dados do FEAM (2012) mostram que apenas no estado de Minas Gerais há em torno de 746 barragens de rejeito de mineração, isso equivale a 91,4% de todas as barragens do país. No ano de 2016 esse número aumentou para 839 barragens, segundo o cadastro nacional de barragens do DNPM. E muitas delas estão localizadas no quadrilátero ferrífero, onde se encontra o município de Ouro Preto.

Os principais aspectos negativos que o rompimento de uma barragem poderia gerar são:

- Impactos socioeconômicos: o pagamento do CFEM (Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais) que é tipo de *royalties* para compensar a mineração, e deve ser direcionado a investimentos relacionados a educação, saúde, saneamento básico, entre outros pilares para uma cidade com qualidade. E, caso a mina venha a fechar, sem a arrecadação do CFEM as cidades podem sucumbir seus investimentos, além de que o encerramento de suas atividades pode comprometer as oportunidades de emprego e até aumentar de índices de criminalidade.

- Impactos ambientais: A implantação de uma barragem necessita de uma grande área o que leva a desapropriação não só para atividade humana e sim para a fauna e flora local, e no futuro tem de adotar a reabilitação da região o que pode vir a não acontecer, pois o impacto pode vir a nunca ser solucionado o que gera redução definitiva da biodiversidade local. Além disso, o rompimento de uma barragem pode vir a destruir vales e depressões adjacentes, o que aumentaria ainda mais a área de degradação ambiental.

O setor construtivo consome grande parte dos variados recursos naturais extraídos, entre esses o minério de ferro. Com isso este, se torna um setor corresponsável por grande parte dos impactos ambientais de sua cadeia de base produtiva (DAMINELLI, 2013). Para se ter ideia, apenas de 20% a 50% das matérias-primas naturais extraídas são consumidas pela construção (SCILLAG, 2017). O resto do material é rejeitado, que muitas das vezes, por não haver interesse econômico, não são utilizados, sendo depositados em pilhas e barragens.

Segundo Silveira (2015) com o estudo e a metodologia adequada o aproveitamento de RM ajuda a minimizar os impactos ambientais gerados pela atividade da mineração, além de auxiliar na confecção de produtos na construção civil, desenvolvendo renda, emprego e uma melhoria na reputação das mineradoras.

Com isso a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010) mudou a definição de rejeito, afim de incentivar a reutilização do mesmo, segundo ela só pode ser considerado rejeito, o resíduo sólido que após variados processos tecnológicos e econômicos viáveis não disponibilizar outra possibilidade que a disposição final em ambiente apropriado. Já no ano de 2016 o Ministério Público Federal (MPF) publicou a recomendação Nº014/2016-MPF-GAB/FT que enaltece a reutilização de resíduos sólidos minerais, afim de inserir as mesmas em outros ciclos produtivos como a construção civil, tendo como a sanção a não aprovação do Plano de Aproveitamento Econômico (PAE) caso o empreendedor não utilize 5% (ano de 2016) até 70% (ano de 2025) do rejeito em outra cadeia econômica.

No ano de 2019 foi sancionada a lei 23.291/19 em que determina que todas barragens com mais de 10 metros (contando do ponto mais baixo a crista) ou com volume igual ou superior a um milhão de metros cúbicos devem ser esvaziadas; no

caso das inativas, no caso das ativas em até três anos promover a migração para uma tecnologia alternativa.

Neste contexto, incentivar pesquisas para a reutilização é mais do que necessário neste momento. Para Pinto (2013) o rejeito pode apresentar características de um material com granulometria e plasticidade ideal para contribuir para o empacotamento das partículas de um compósito cimentício. Já Fontes (2013) utilizou-o como agregado para argamassas de revestimento, Sant'ana (2013) para produção de blocos intertravados e Bastos (2013) em infraestrutura rodoviária, com isso, nota-se, um grande potencial de uso do rejeito de minério de ferro na construção civil.

Além dos riscos associados as barragens, na região de Ouro Preto há movimentos de massa gerando riscos a população, isso se deve a ocupação urbana inadequada nas encostas, associada aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geotécnicos.

Sobreira (1990) destaca a variação altimétrica da cidade, apresentando um relevo bem acidentado, somada a complexidade geológica da região o que forma um cenário ideal para movimentação de massas, e, ao mesmo tempo eventos pluviométricos são fatores ideais para deslizamentos de encostas. O que poderia ser mitigado com investimentos em medidas estruturais. O movimento ocorre em razão da mobilização de materiais com alta umidade, aliado a perda significativa de resistência, isso se deve a pressão intersticial quando os corpos terrosos estão submetidos a alguma sobrecarga (AMARAL e FUCK, 1973).

Em Ouro Preto, bairros como Taquaral, São Francisco, Santa Cruz, Alto da Cruz e São Cristóvão estão situados em área de risco 3, segundo a defesa civil. Deslizamentos são corriqueiros, como pode ver nos registros da defesa civil (Tabela 3), e podem gerar grandes perdas de vidas humanas e prejuízos materiais, além de perturbar a infraestrutura e destruir os monumentos históricos presentes no local como mostrado na Figura 1 a seguir.



Figura 1-Deslizamento ocorrido em 2012 na cidade de Ouro Preto, atingindo parte da rodoviária (TROPICIA, 2012)

Ano	N-de ocorrências	N- de mortes	Locais
1989	32	3	Bairros São Cristovão, Padre Faria, Taquaral, Piedade e Santa Cruz.
1991	32	-	Bairros São Francisco, Antônio Dias, Pilar, Alto da Cruz, Piedade e Padre Faria
1992	54	2	Idem ao Ano Anterior
1995	40	3	Bairros São Cristovão, Piedade, Padre Faria, Santa Cruz, Antônio Dias, Água Limpa e Bauxita
1996/97	123	13	Bairros Taquaral, São Cristovão, São Francisco, Alto da Cruz, Piedade, Padre Faria e Vila Aparecida
2001/03	100	-	Bairros São Cristovão, Alto da Cruz, Piedade, Padre Faria e Santa Cruz
2005	54	-	Bairros São Francisco, São Cristovão, Piedade, Padre Faria, Santa Cruz, Morro Santana, Taquaral e Bauxita
2006/07	312	-	Bairros São Cristovão, São Francisco, Piedade, Padre Faria e Santa Cruz
2008	193	-	Idem ao Ano Anterior
2009	89	-	Idem ao Ano Anterior

Tabela 3-Registros de movimento de massa na área urbana de Ouro Preto (FONTES,2011)

Observando a Tabela 3 nota-se um grande número de ocorrências e de mortes por movimento de massas na cidade de Ouro Preto, e com isso gera a necessidade de alguma medida interventora para saciar esses acontecimentos, principalmente em bairros com uma maior variação altimétrica, além das chuvas constantes.

Como existe métodos adequados para interpor o RBMF em concretos (SILVEIRA,2015), o objetivo é encontrar uma saída inserindo RBMF para confeccionar blocos que poderiam ser utilizados como paramento de encostas. Solucionando o problema dos deslizamentos da região e das adversidades das barragens de rejeito.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Investigar o potencial tecnológico de uso de RBMF em blocos destinados para paramento de estruturas de solo reforçado por geossintéticos em Ouro Preto-MG.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Revisar na literatura nacional e internacional as propriedades físicas e químicas do RBMF e avaliar seu potencial de uso como agregado miúdo, em substituição parcial ao agregado miúdo natural, na produção de blocos de paramento de estruturas de solo reforçado por geossintéticos;
- Revisar na literatura nacional e internacional sobre os tipos de sistemas de contenção existentes, em especial o sistema de estruturas de solo reforçado por geossintéticos;
- Projetar estruturas de solo reforçado por geossintéticos com uso de blocos de concreto como paramento, por meio do software ForTerra®[®], com dados reais de uma encosta localizada na região central de Ouro Preto;
- Projetar em um software as vistas de uma encosta real de Ouro Preto, utilizando o bloco como paramento, considerando os aspectos técnicos e arquitetônicos especificados pelo IPHAN.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Minério de Ferro

A partir das rochas se obtém minerais que podem conter ferro. Para Carvalho (2014) a forma mais viável de obter o ferro (Fe), economicamente, para as indústrias é a partir de substâncias minerais, como a hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4) e goethita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), por apresentarem maiores conteúdos teóricos em ferro, conforme apresentado na Tabela 4.

Mineral	Conteúdo Teórico de Ferro
Magnetita	72,4
Hematita	69,9
Geothita	62,9
Limonita	59,8
Ilmenita	36,8
Siderita	48,2
Pirita	46,5
Pirrotita	61

Tabela 4- Conteúdo teórico de ferro (em %) dos principais minerais portadores de ferro (CARVALHO et al., 2014).

As maiores reservas de ferro do mundo estão presentes nas Formações Ferríferas Bandadas (FFB) que são rochas, denominada itabirito, bandadas ou laminadas (MUNDIAL, 2009; WOLFF, 2009; DE ANDRADE, 2017). Segundo Carvalho (2014) as FFB contêm teores de ferro entre 20% a 50%. No Brasil elas estão localizadas na região do quadrilátero ferrífero (região onde se encontra Ouro Preto-MG), na província mineral de Carajás-Pr e Corumbá-MS.

Segundo o jornal O TEMPO (2019) em 2018, apenas o minério de ferro representou 17% de todas as exportações brasileiras e com isso arrecadou mais de 20 bilhões de dólares. Porém, recentes rupturas de barragens de rejeitos, fez com que os órgãos públicos, junto com a sociedade, questionassem o processo de mineração, em especial a forma como os RBMF tem sido destinados no ambiente e os riscos associados às estruturas de contenção destes rejeitos (ALVES, 2019).

2.1.1 O Processo de Beneficiamento do Minério de Ferro

O minério ao ser explorado é encontrado de forma bruta com variados minerais, assim, é necessário passá-lo por processos de mineração, como os de lavra e de beneficiamento, no intuito de adequar fisicamente e quimicamente o produto que será comercializado (ARAUJO, 2006 apud FERRANTE, 2014). Esses processos tem como

objetivo uniformizar o tamanho dos fragmentos e eliminar os minerais que não são desejados para aumentar a pureza de Fe do produto final.

O processo de beneficiamento é composto tipicamente por algumas etapas que são apresentadas na Figura 2. Primeiramente a fragmentação que é a britagem e moagem do minério, reduzindo seu tamanho até o necessário. Para reduzir os custos nessa etapa são adotadas intervenções de classificação por tamanho, por meio de peneiramento, evitando uma fragmentação desnecessária do material (LUZ e LINZ, 2010). O processo conhecido como ciclonagem ou classificação em espiral, identifica as espécies de minerais. Assim, obtém-se o concentrado mineral desejado e um rejeito. As impurezas do concentrado mineral são retiradas por flotação, eletrostática, eletromagnética ou de forma gravítica. Depois ocorre um processo de desaguamento que filtra e seca o produto final. Enquanto o material rejeitado é disposto, geralmente, em barragens.

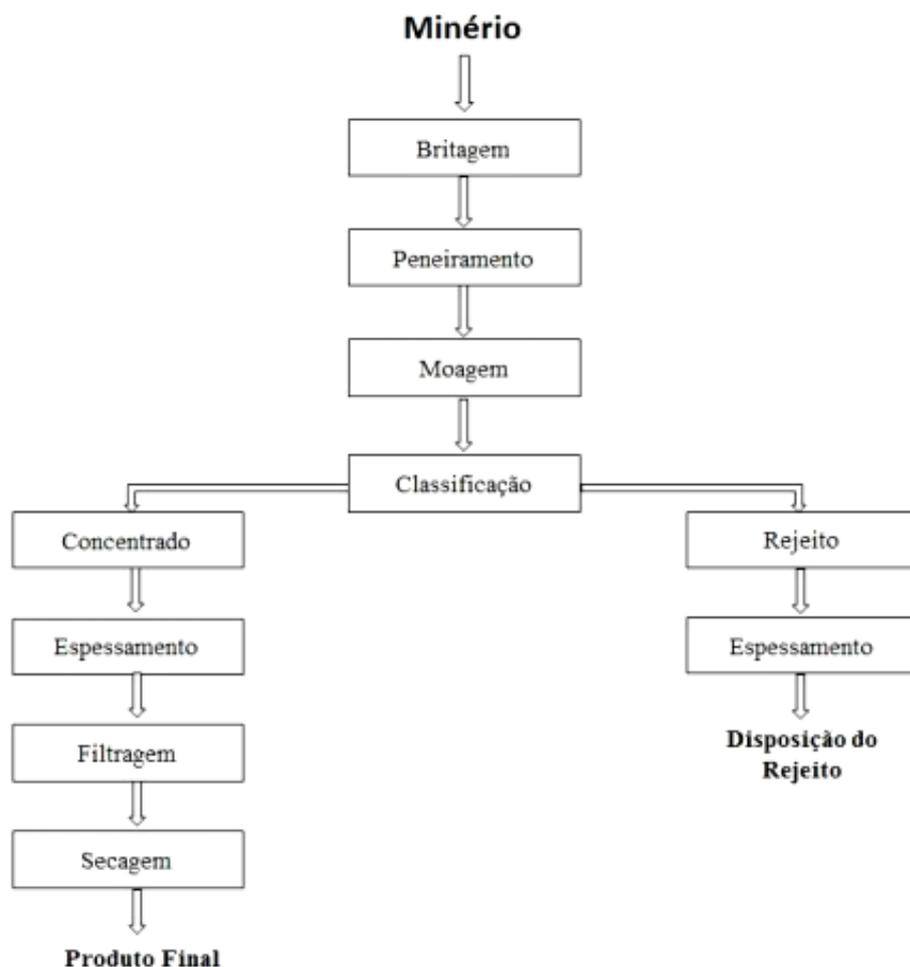


Figura 2- Fluxograma típico do processo de beneficiamento do minério de ferro (WOLFF, 2009).

Antigamente os rejeitos eram descartados em leito de rios e córregos, gerando um aumento da turbidez da água, além de assorear os mananciais hídricos. Contudo, o aumento da necessidade por ferro fez com que a atividade de mineração movesse grandes volumes de matéria-prima, sendo necessária a disposição do material não comercializado em bacias, ou seja, em grandes estruturas de contenção também conhecidas por barragens de rejeitos (Figura 3), quando armazenados por via úmida (PEIXOTO, 2016). Não obstante, existem formas de armazenar os mesmos por via seca, as chamadas pilhas de rejeito, que não retém líquido junto com a matéria sólida; processo este que é utilizado em Carajás-PA (PEREIRA, 2005).



Figura 3 - Exemplo de Barragem de Rejeito de Minério de Ferro localizada no município de Congonhas – MG (LISBOA,2019).

Em relação ao rejeito, o mesmo pode apresentar uma considerável concentração de minério de ferro, em razão da ineficiência do processo de fluxo do tratamento do minério ou por não haver uma tecnologia economicamente viável. Com isso, há uma perda financeira que poderia ser evitada, caso os processos fossem mais eficazes, diminuindo, conseqüentemente, a quantidade de rejeito e aumentando a vida útil da barragem (WOLF, 2009).

A planta de beneficiamento e a composição do solo determinam as características do rejeito, pois de acordo a mineralogia do maciço rochoso a diferentes

rejeitos, podendo gerar estéreis com granulometria, densidade e forma variadas (SILVA, 2010; PEREIRA, 2005).

2.2 Rejeito de Barragem de Minério de Ferro

Para avaliar o potencial de uso do RBMF em blocos de parâmetro de encostas estruturadas por solo-reforçado com geossintéticos, foi realizada uma revisão e análise das características do RBMF e dos blocos de concretos de RBMF estudados por Sant'ana (2013), segundo as de interesse dos blocos de parâmetro. Para tal, serão apresentadas a seguir as técnicas de ensaios adotadas para a caracterização dos RBMF (Fluorescência de Raio-X (FRX), Difração de Raio-X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), granulometria, teor de umidade, massa específica, massa unitária e ensaio de substâncias nocivas), os resultados e discussões relevantes. Também serão apresentadas as dosagens, as técnicas de caracterização (tomografia computadorizada, expansibilidade, absorção de água e resistência a compressão) os resultados e discussões relevantes dos blocos de concreto.

2.2.1 Caracterização do RBMF

2.2.1.1 Fluorescência de Raio-X

O objetivo da FRX é identificar os elementos químicos presentes e suas proporções quantitativas. A FRX foi realizada no laboratório do CEFET-MG por espectrometria, que emite uma fonte de radiação de elevada energia provocando excitação dos átomos, com isso o elemento entra no estado excitado, assim o átomo tende a voltar no seu estado normal, emitindo uma energia característica específica de cada elemento químico (BECKHOFF,2006). A FRX foi feita com material coletado mais próximo aos vertedores das barragens e com os coletados em áreas mais afastadas. As amostras próximas aos vertedores apresentam maior concentração de ferro, enquanto as mais distantes apresentaram um aumento na porcentagem de quartzo.

Na Tabela 5 tem-se a média das porcentagens dos elementos químicos identificados nas amostras de RBMF.

ELEMENTOS	%
SiO ₂	63,88
Fe ₂ O ₃	34,81
SO ₃	1,15
CaO	0,15

Tabela 5-Média das porcentagens dos elementos químicos dos RBMF, identificadas por FRX (SANT'ANA,2013).

Como mostrado não há a presença de nenhum elemento nocivo como chumbo, mercúrio e arsênio, não tem cloretos que gera a variação do pH levando a carbonatação ou substâncias expansivas como óxidos de sódio e de potássio que gera a reação álcali-agregados. Mostrando que o rejeito tem características inertes podendo ser utilizado na construção civil.

2.2.1.2 Difração de Raios-X

A DRX tem por objetivo determinar a composição mineralógica de um material e a intensidade relativa, pois o conhecimento dessa característica aponta a viabilidade técnica de aplicação do rejeito na construção civil, sendo essencial para a análise de propriedades químicas e mineralógicas. Isso é possível, pois os retículos cristalinos formam planos de átomos e eles são separados por distâncias da mesma ordem que comprimentos de onda dos Raios-X. Assim, quando um raio passa pelo material, o seu feixe é difratado formando um ângulo de difração. Com isso, cada composto cristalino respeita uma posição de ângulos de forma específica que determina qual mineral está presente naquele material (GOBBO, 2009).

A DRX foi realizada no laboratório de DRX do CEFET-MG, por meio de um difratômetro da marca Shimadzu, operado com radiação de um tubo de Cu $\lambda=1,5418$ Å, tensão de 30kV e corrente de 30mA. Quanto ao preparo das amostras, primeiro elas foram secas, depois moídas e pressionadas em uma superfície de vidro plana criando heterogeneidade na orientação cristalográfica. Na Figura 4 tem-se o difratograma do RFM e os picos característicos dos minerais identificados. Ressalva-se que para identificá-los foi necessário comparar com os dados do *International Center for Diffraction Data* (ICDD, 2013).

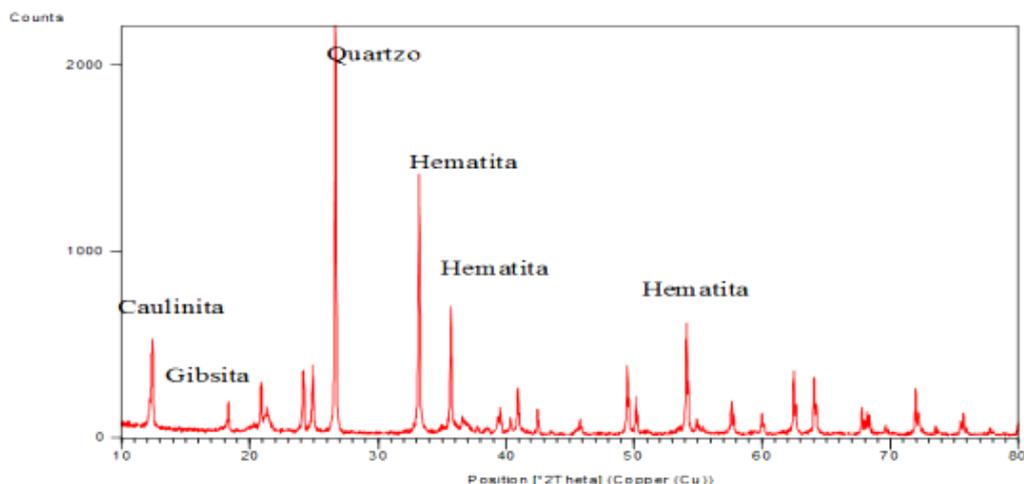
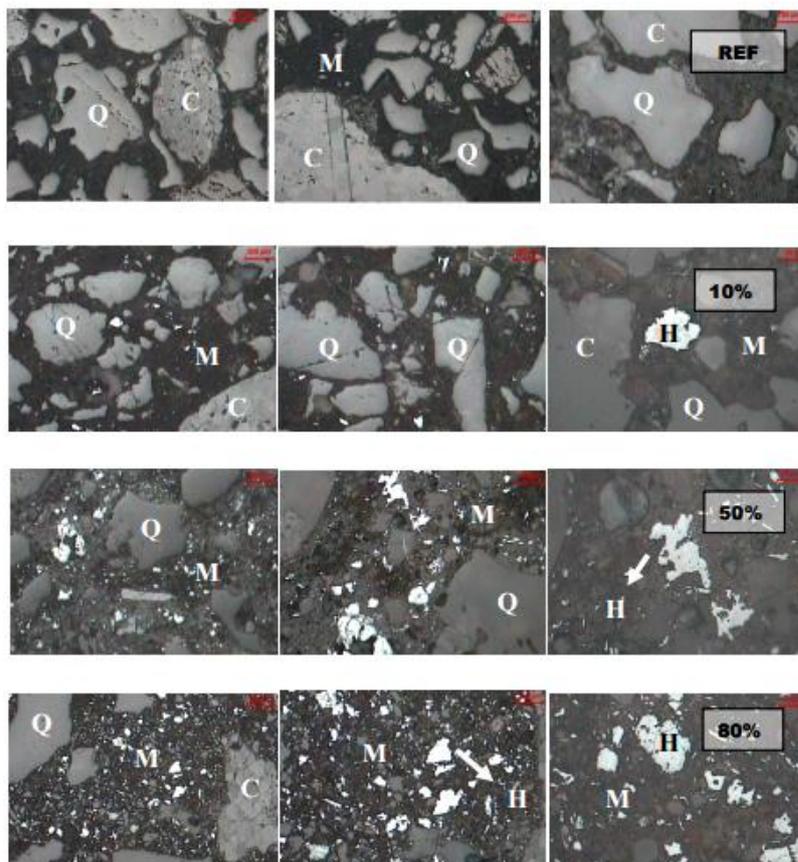


Figura 4-Composição mineralógica do RBMF, identificada por DRX (SANT'ANA,2013).

Através da análise dos picos característicos da DRX foi possível identificar os seguintes minerais Quartzo (SiO_2), Hematita (Fe_2O_3), Caulinita (SO_3) e Gibsita (CaO). O quartzo é utilizado em vários produtos na construção civil como agregado fino. A gipsita é utilizada principalmente na fabricação de cimento (SOBRINHO et al,2001). A caulinita em pequena quantidade, porem apresenta funções pozolânicas ideais para o concreto (ABRÃO,2019). A hematita é um elemento mais denso que o agregado miúdo natural e tem coloração marrom avermelhado, ou seja, são minerais que apresentam possível utilização junto a matriz do cimento.

2.2.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

As imagens das matrizes de cimentícias com rejeito foram obtidas por um equipamento de MEV da marca Shimadzu, modelo superscan SSX-550. A Figura 5 é composta por uma sequência de imagens dos fragmentos de blocos compostos por diferentes misturas de RBMF. Essas imagens permitem analisar a morfologia das partículas do RBMF e sua interação, após o período de cura, com os demais materiais nos blocos já fabricados. Tendo em vista que os blocos têm uma porcentagem de agregado miúdo natural substituído por rejeito de minério em diferentes proporções de 10%, 50% e 80%.



Legenda: C-calcário, H-hematita, Q-quartzo, M-matriz

Figura 5-MEV das matrizes dos blocos de concreto compostos por diferentes teores de rejeito (SANT'ANA,2013).

As imagens mostram um material composto por partículas de diferentes tamanhos, havendo uma predominância de partículas finas, provavelmente quartzo e argilominerais, algumas de hematita que apresentam um brilho característico dos materiais metálicos.

Na Figura 5 também pode-se observar que quanto maior a substituição de rejeito por agregado, partindo do valor referencial (0% de rejeito) até 80% de rejeito, nota – se o acréscimo de pontos brancos que são os minerais metálicos presentes.

2.2.1.3 Granulometria

A distribuição granulométrica dos agregados foi determinada pela norma NBR NM 248:2003. Para tal, o material necessário é balança, estufa e um conjunto de peneiras que devem atender as exigências das normas NM-ISO 3310-1:2010.

Antes do ensaio, os agregados foram quarteados; para misturar e com isso homogeneizá-los. Duas amostras de agregado foram secas em estufa a 100 °C por 24h e esfriadas a temperatura ambiente e, em sequência, a massa identificada. Depois colocadas cada amostra em um conjunto de peneiras limpas, aumentando as malhas da base até o topo da última peneira. Com um agitador mecânico o conjunto de peneira com o material foi agitado por um tempo razoável a para permitir a separação e classificação previa dos diferentes tamanhos de grãos da amostra. Logo depois foi determinada a massa do material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto. E, após separar esse material em uma bandeja já tarada, foi somada a massa das duas amostras e identificada a porcentagem média retida em cada peneira. Com os dados obtidos foram desenvolvidas as curvas granulométricas dos agregados, apresentadas na Figura 6 a seguir.

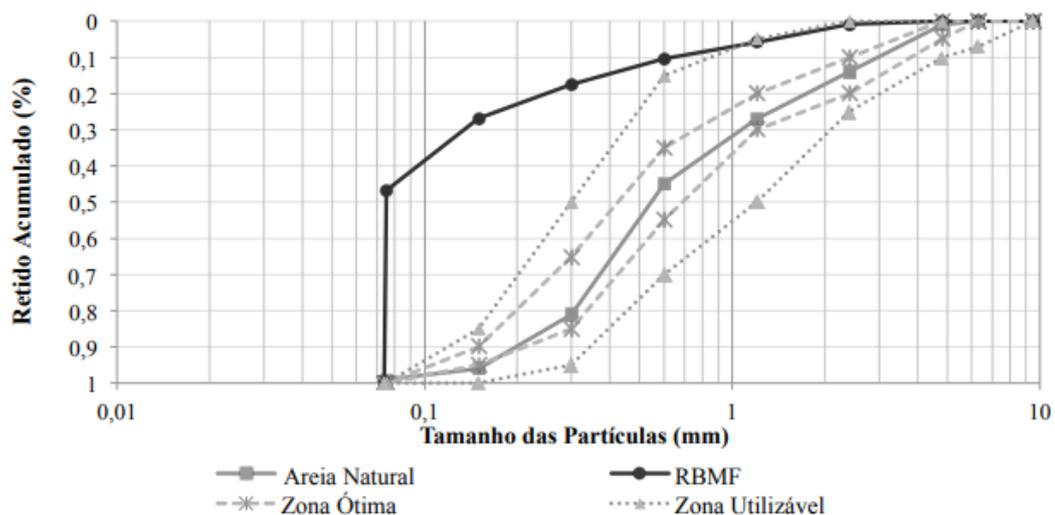


Figura 6- Curva Granulométrica dos agregados (SANT'ANA,2013).

Como pode observar a curva do RBMF encontra-se fora da zona utilizável, por isso a necessidade de utilizá-lo junto a uma areia natural, esta com a curva dentro da Zona Ótima, afim de ajustar granulometricamente o *mix* de agregados para uma composição próxima a da Zona Utilizável.

2.2.1.4 Teor de umidade

Antes que o RBMF seja utilizado em substituição parcial ao agregado miúdo natural em uma matriz cimentícia é necessário determinar o seu teor de umidade (NBR 9939:2001), afim de saber a relação de água contida no RBMF e a sua massa seca. A determinação é importante, pois o rejeito é depositado como uma polpa. E para sua

reutilização em concretos é importante saber o quanto de água tem, para ajustar a relação água e cimento da mistura.

Para saber a umidade tem que conhecer os valores da massa de amostra úmida e a massa de amostra seca e com isso identificar a massa de água. Para fazer esse procedimento existe vários métodos como o frasco de Chapman, Speedy, método da frigideira e método da secagem em estufa. Geralmente, o último método mencionado é o mais adotado, por ser bem simples comparado aos outros, pois basta ter uma estufa e uma balança para fazer o procedimento. Onde, primeiro se pesa uma amostra com sua massa conhecida, coloca o material em estufa por 24 horas em uma temperatura entorno de 105° C, após o tempo retira o material e efetua se o cálculo do teor de umidade por meio da equação descrita a seguir.

$$h = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

Onde:

Mh = Massa da amostra umida (g)

Ms = Massa da amostra seca (g)

Ma = Massa de agua (g)

h = Umidade (g)

Esse procedimento foi realizado por Sant'ana (2013) e apresentou os teores de umidade dos agregados (para a areia natural, rejeito e o agregado graudo - brita 00), conforme apresentados na Tabela 6 **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Ensaio	Natural	Rejeito	Brita 00
Teor de umidade(%)	0,18	1,08	< 1,5

Tabela 6 - Teor de Umidade dos agregados (SANT'ANA,2013)

2.2.1.5 Massa específica e massa específica aparente

Para determinar a massa unitária e volume de vazios dos agregados miúdos (natural e o RBMF), o ensaio realizado por Sant'ana (2013) seguiu os procedimentos descritos na norma NBR NM 45:2009. Os agregados foram secos em estufa a 110° C, até obter constância de peso. O volume do recipiente (Vr) utilizado foi determinado. A amostra de agregado utilizada tinha volume no mínimo duas vezes o

correspondente à capacidade do recipiente usado. Pesa-se o recipiente utilizado para medir a sua massa (M_r). Em sequência o recipiente é preenchido com a amostra de forma a evitar a compactação do material, para tanto o material foi solto a uma altura de 10 a 15 cm. Depois o conjunto, recipiente mais amostra (M_{ra}) é pesado. O procedimento descrito foi repetido com a outra amostra do mesmo material. Assim, a massa unitária de cada agregado miúdo foi calculada através da equação.

$$\gamma = \frac{M_{ra} - M_r}{V_r}$$

Onde:

γ = massa unitária do agregado miúdo (g/cm^3)

M_{ra} = Massa do recipiente mais amostra (g)

M_r = Massa do recipiente (g)

V_r = Volume do recipiente (cm^3)

Para determinar a massa específica é realizado o ensaio segundo a norma NBR NM 52:2002. O ensaio feito por Sant'ana (2013) seguiu os requisitos da norma, os agregados são secos em estufa a 110°C , até obter constância de peso. É colocado água no frasco Chapman, até a marca de 200 cm^3 e introduzido cuidadosamente 500 g de agregado no frasco, com auxílio de um funil. Depois o frasco é agitado, com movimentos circulares, para a eliminação das bolhas de ar. O procedimento descrito é repetido com a outra amostra do mesmo material. Assim, a massa específica de cada agregado miúdo foi calculada através da equação.

$$\mu = \frac{500}{L - 200}$$

Onde:

μ = massa específica do agregado miúdo (g/cm^3)

L = leitura final do frasco (volume ocupado pela água + agregado miúdo)

Os resultados dos ensaios de massa unitária e massa específica dos agregados, natural e RBMF, são apresentados na Tabela 7, a seguir.

Ensaio	Natural	Rejeito
Massa especifica g/cm ³	2,65	3,55
Massa unitaria g/cm ³	1,5	1,89

Tabela 7-Resultados do ensaio de massa unitária e massa específica dos agregados, natural e RBMF (SANT'ANA, 2013).

Com esses resultados nota-se que o rejeito é bem mais denso que o agregado natural.

2.2.1.6 Substancias nocivas

Os ensaios de lixiviação e solubilização foram realizados afim de identificar se os níveis de elementos químicos presentes no RBMF contemplam os permitidos especificados na NBR10004 (ABNT, 2004).

Os resultados dos ensaios são apresentados no Anexo 2 do trabalho, e, segundo análise dos mesmos, o RBMF é classificado como Classe II-A, não perigoso e inerte, ou seja, este RBMF não apresenta danos ambientais e com isso pode ser empregado na confecção de blocos para paramento.

2.2.2 Dosagem e caracterização dos Blocos de Concreto

Sant'ana (2013) produziu quatro traços diferentes de concreto para produção dos blocos de pavimentação que também pode ser utilizado da mesma maneira para confecção dos blocos de paramento. Em cada traço, o agregado miúdo natural é substituído por RBMF nas seguintes proporções, 10%, 50% e 80%. Também foi apresentado um traço de referência, semelhante ao concreto convencional, ou seja, sem o uso de RBMF, para ser utilizado em análises comparativas.

As proporções de cimento e aditivos se mantiveram as mesmas em todos os traços, como pode ser visto na Tabela 8. Considerando que o peso médio de um bloco de paramento é 31 kg, conforme dado fornecido pela empresa Blocos Sigma localizada em Belo Horizonte-MG. E, tendo em vista as propriedades das matérias-primas (agregado graúdo - brita 00, CPV-ARI e aditivo plastificante) apresentadas por Sant'ana (2013), e dos agregados (natural e RBMF), será proposta as seguintes dosagens (Tabela 8) para produção dos blocos de paramento.

Materia Prima	Bloco de Ref.	10%	50%	80%
Brita 00	8 kg	8 kg	8 kg	8 kg
CPV-ARI	7,72 kg	7,72 kg	7,72 kg	7,72 kg
Areia/Rejeito	13,9/0 kg	12,51/1,39 kg	6,95/6,95 kg	2,78/11,12 kg
Aditivo	0,14 litros	0,14 litros	0,14 litros	0,14 litros
Agua	1,23 litros	1,23 litros	1,44 litros	1,9 litros
Rendimento	1 bloco	1 bloco	1 bloco	1 bloco

Tabela 8-Relação dos materiais para produção de um bloco de paramento, segundo proporções propostas por Sant'ana (2013).

Essa proposta de traços foi elaborada segundo as características físicas e químicas dos materiais, apresentadas anteriormente, e com base nos resultados de porosidade (identificada por tomografia computadorizada), expansibilidade, absorção de água e resistência a compressão de blocos de concretos produzidos com RBMF que serão revisados a seguir.

2.2.2.1 Tomografia Computadorizada

A tomografia computadorizada é uma técnica que pode determinar a porosidade de materiais, por meio de imagens de alta resolução (NETO,2011). Sant'ana (2013) utilizou um tomógrafo para comparar a porosidade entre os traços. Na Figura 7, pode observar uma diminuição da porosidade com o aumento da adição de rejeito. Isso se deve a predominância de partículas finas do RBMF, que contribuem para o melhor empacotamento de partículas e efeito filler no bloco.

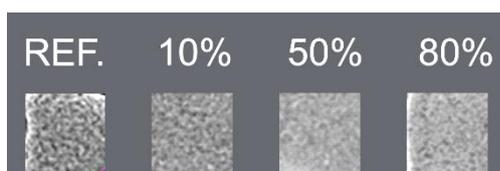


Figura 7-Imagens dos blocos compostos por diferentes traços (ref, 10%, 50% e 80%), obtidas por tomografia computadorizada (SANT'ANA,2013).

Na Figura 7, os pontos escuros na imagem são poros e percebe-se que quanto maior a concentração de RBMF, menos eles aparecem nas imagens, ou seja, menor a porosidade da matriz e, conseqüentemente, maior poderá ser a resistência e durabilidade dos blocos com a inserção parcial de RBMF.

Com o desenvolvimento de ferramentas de contrastes, graças a computação gráfica, pode se observar o quanto há de poros em uma seção transversal de corte do material. Na Figura 8 tem-se a representação gráfica da relação entre a densidade e a diferença de contraste que há nos poros.

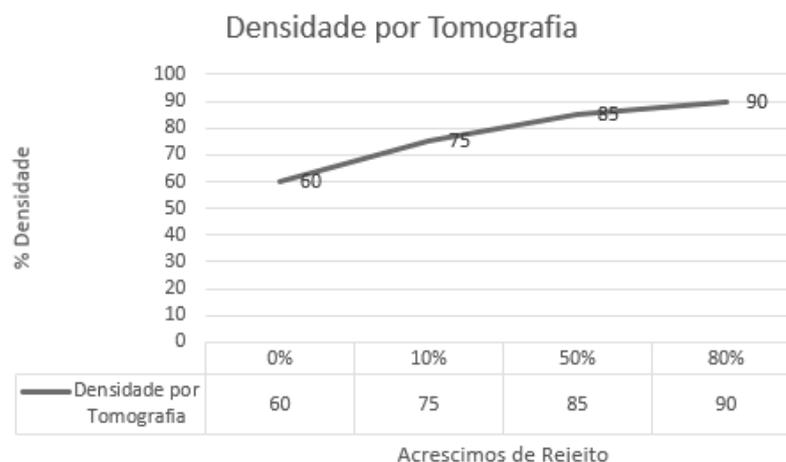


Figura 8-Relação entre a densidade do bloco e a porcentagem de RBMF utilizada em substituição ao agregado miúdo natural (SANT'ANA,2013).

Percebe-se que a adição de rejeito diminui o número de poros na seção e com isso há um aumento da porcentagem da densidade. Ao analisar a seção inicial, nota-se que quase 40% do corte do material havia poros e com acréscimo de RBMF esse número declina para quase 10%.

2.2.2.2 Expansibilidade

A hidratação do óxido de ferro é uma das principais causas de expansão dos concretos. Outros componentes também expandem como areias finas, argilas e siltes, contudo essa expansão normalmente não chega a comprometer o desempenho da matriz cimentícia.

Então, para verificar se haveria expansão nos blocos, sem e com RBMF, Sant'ana (2013) aferiu as medidas dos blocos secos e saturados em água. Ele secou os blocos em estufa, até obter constância de peso; e depois aferiu suas medidas. Depois colocou os blocos submersos em um tanque de água por tempos variados, (1, 3, 7, 21, 28 e 42 dias) e a partir desse contato foram medidos novamente com a ajuda de um paquímetro. Os percentuais de expansão são mostrados na Tabela 9 .

TEMPO	Expansão Ref	Expansão 10%	Expansão 50%	Expansão 80%
1 Dia	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
3 Dias	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
7 Dias	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
21 Dias	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
28 Dias	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
42 Dias	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Total	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabela 9-Percentuais de expansão dos blocos (SANT'ANA,2013).

A Tabela 9 mostra que a expansão é exígua nos blocos de pavimentação, e os mesmos apresentam dimensões bem inferiores à dos blocos de paramento. Assim, a expansão poderá ser mínima nos blocos propostos neste trabalho, o que não prejudicaria sua função, tendo em vista que eles não têm emprego estrutural e funciona somente como proteção do sistema de contenção. Provavelmente, o fato do RBMF ser úmido, em virtude da água contida nas barragens, sua exposição a água por um longo período contribui para que já ocorra o processo de hidratação do óxido de ferro, estabilizando, assim, o processo de expansão da matriz com uso de RBMF.

2.2.2.3 Absorção de água

O ensaio de absorção de água foi realizado de forma análoga ao da expansibilidade. Tal fenômeno é importante para possíveis utilização dos blocos, pois o excesso de absorção de água pode gerar uma redução da resistência mecânica dos mesmos e um possível aumento de fissuras e rachaduras. Isso faz com que o bloco de paramento deixe exposta a geogrelha ou geotêxtil, podendo haver, assim, uma diminuição da vida útil do solo armado, além da possibilidade está suscetível a vandalismo.

Todas as análises de absorção seguiram a NBR 12118. Levando os corpos de prova para uma estufa e manter por 24h, após os corpos estarem secos os mesmos são resfriados ao ar livre e depois colocados em imersão total em água, assim ficam saturados por 1, 3, 7, 21, 28 e 42 dias. Conforme dados da Tabela 10, os blocos compostos por concretos de RBMF apresentaram valores de absorção de água inferiores ao de referência, indicando que o concreto de RBMF pode ser aplicado para outras funções.

TEMPO	Ref	10%	50%	80%
1 Dia	0,8	0,7	0,8	0,7
3 Dias	0	0	0	0
7 Dias	1,5	0	0	0
21 Dias	0	0	0	0
28 Dias	0	1,5	0	0
42 Dias	0	0	0	0
Total	2,3	2,2	0,8	0,7

Tabela 10-Teor de absorção de água em relação ao tempo exposto (SANT'ANA,2013).

2.2.2.4 Resistência a Compressão

A NBR 7215 especifica o procedimento de ensaio realizado para determinação da resistência a compressão dos blocos (SANT'ANA, 2013). Os corpos

de prova utilizados foram desmoldados e curados, a cura se deu por molhamentos diários nos 3 primeiros dias e protegidos por uma lona nos 6 primeiros dias, após esse tempo ficaram ao ar até serem rompidos após 7 e 70 dias, os blocos foram rompidos em prensa equipada com dois pratos de aço, transferindo a carga de modo progressivo e sem choques. A resistência é determinada em MPa, e para calcular seu valor bastou dividir a carga de ruptura (em N) pela área de carregamento (em mm²) e multiplicar o resultado por “p=1”, em razão da altura do bloco. Assim, a resistência a compressão de cada bloco foi determinada e a média da resistência à compressão dos blocos de cada tratamento é apresentada na Figura 9.

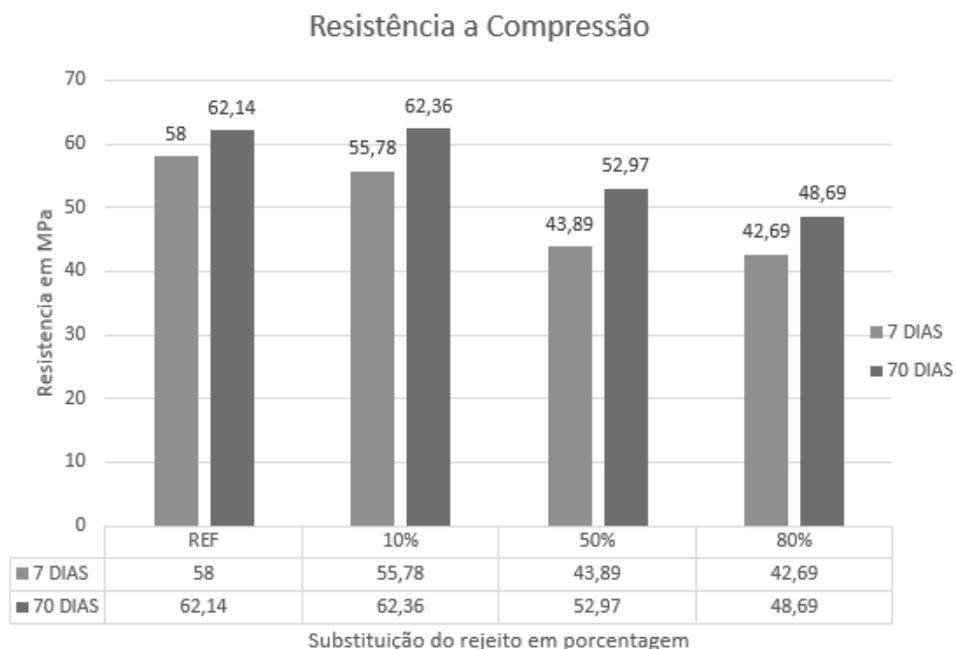


Figura 9-Resistência à compressão dos blocos com substituição de agregado miúdo natural por RBMF, rompidos após 7 e 70 dias de moldagem (SANT'ANA,2013).

Os resultados a compressão obtiveram valores muito acima dos necessários para utilização do bloco como paramento, tendo em vista que ele não tem nenhuma função estrutural, pois é um adorno na construção. Porém apresenta resistência que suportaria um colapso, chegando ao seu estado limite último.

2.3 Estruturas de Contenção de Encosta

As condições de estudo gerais em relação a estabilidade de taludes (resultantes de cortes e aterros realizados em encostas) seguem a norma NBR 11682 (ABNT, 2009), afim de garantir a sua segurança frente a intempéries e fenômenos geológicos. O procedimento preliminar que a norma orienta é caracterizar o local onde

haverá a intervenção, executando a investigação geológica, geotécnica, geomorfológica, topográfica, geo-hidrológica, entre outras. Fazendo, assim, o levantamento do máximo de informação sobre o relevo, aliado com o histórico local de deslizamentos e rolamentos da área de intervenção, elaboração do estudo e projeto, execução da obra, serviço de implantação, medidas de manutenção e monitoramento.

Após todas essas etapas, devem ser verificadas as restrições legais do ambiente, pois a legislação específica aplicável se diferencia muito entre as esferas federal, estadual e municipal. Junto a isso, deve-se analisar a real necessidade de intervenção no local, observando o grau de emergência podendo requerer a evacuação de prédios, residências, comércios, impedimento de tráfego de veículos, entre outras ações.

2.3.1 Tipos de Estrutura de Contenção

Segundo a norma NBR 11682 (ABNT, 2009), toda contenção tem o objetivo de resistir aos esforços aplicados pelo solo, além do empuxo da água e uma sobrecarga acidental de 20kPa distribuída uniformemente pela superfície do terreno arrimado. Dentro deste propósito, vários sistemas de contenção foram desenvolvidos e alguns deles serão apresentados a seguir:

- Muro de gravidade: são aqueles que tem uma base bem resistente e pesada. A estabilidade dele é garantida pelo peso próprio da estrutura. Pode ser de concreto simples, ciclonado, gabião, alvenaria, pedra argamassada, pedra seca, tijolo ou elementos especiais. Seu objetivo é resistir os esforços citados pela norma, além de tombamentos, deslizamento e carga da fundação.
- Muros de Flexão: atendem basicamente as mesmas funções do muro de gravidade, porém devem resistir a ações de flexão, com isso, geralmente, são constituídos por concreto armado São conhecidos, popularmente, como muros de arrimo.
- Estruturas ancoradas: a estabilidade do talude é garantida através de estruturas que ancoram no maciço rochoso ou terroso, podendo ser na forma de tirantes. Essas estruturas devem seguir a norma ABNT NBR 5629:2006 para garantir as verificações estruturais; e este tipo de estrutura deve apresentar

maior fator de segurança em relação aos outros tipos, essa estrutura é mais cara pois tem de introduzir elementos metálicos no maciço rochoso, o que necessita de mão de obra e equipamentos especializados.

- Estruturas de solo reforçado: a estabilidade é garantida pelo próprio terreno, e com a utilização de algum elemento resistente, afim de aumentar o coeficiente de segurança do talude. Entre os elementos utilizados para a estruturação do solo, podemos destacar grampos, fitas, geossintéticos, colunas de solo-cimento ou estacas. O objetivo desses elementos é fazer a estrutura de intervenção trabalhar harmonicamente com o terreno.

2.3.2 Estrutura de solo reforçado com geossintéticos e com uso de blocos de paramento

Os geossintéticos, são produtos poliméricos (sintético ou natural) desenvolvidos para obras geotécnicas, afim de reforçar o solo. A técnica de reforçar o solo é bem antiga, segundo Vertematti (2004) a utilização de algum material para melhorar a qualidade do solo é comum desde de 3000 a.C. Materiais fibrosos junto a solo foi uma prática comum a várias civilizações, como nos zigurates da Mesopotâmia, na grande muralha da China e em várias obras do Império Romano. O geossintéticos se destacam nas várias qualidades que eles apresentam como a possibilidade de uma maior velocidade de execução (por ser bem simples sua instalação) e por não necessitar de mão de obra especializada. Também permitem um fácil controle de qualidade. Possuem inatividade química em soluções básicas e ácidas. E, podem substituir material de alto valor agregado, diminuindo, assim, os custos da obra.

Essa técnica foi panteada primeiramente pelo francês Vidal (1960), apud, Santos (2014). Utilizando barras de aço, ele conseguiu aumentar o atrito do solo. Porém, com o tempo as barras foram oxidando, diminuindo sua resistência e alterando as características do material. Com o desenvolvimento dos polímeros os mesmos se tornaram a melhor maneira de armar o solo. Quando se tem um solo armado, não quer dizer que o mesmo ficará mais resistente e sim que os esforços solicitantes serão transmitidos para o material (BORGES, 1995).

Os materiais tem se desenvolvido cada vez mais nas últimas décadas, segundo o manual Brasileiro de geossintéticos polímeros como PVC, poliamida, poliéster, polietileno entre outros, levou ao emprego desses materiais sintéticos na construção

civil. E aliado a essa evolução vem a fabricação de geotêxtis não tecidos e de malhas sintéticas, atendendo propriedades e necessidades da engenharia moderna.

Entre as aplicações destacam-se reforço de solos, filtração, contenção de obras hidráulicas, drenagem, separação de materiais, proteção, adensamento, pavimentação, erosão superficial e impermeabilização.

O reforço de solo é um dos métodos para contenção de encostas e a escolha do geossintético varia com sua principal função. Segundo (VERTEMATTI,2004) as funções variam de acordo com a Tabela 11 a seguir.

Geossintético	Separação	Proteção	Filtração	Drenagem	Erosão	Reforço
Geotêxtil	X	X	X	X	X	X
Geogrelha	X	-	-	-	-	X
Geomembrana	X	-	-	-	-	-
Georrede	-	X	-	X	-	-
Geocélula	-	-	-	-	X	X
Geotubo	-	-	-	X	-	-
Geofibras	-	-	-	-	-	X

Tabela 11 - Tipos de Geossintéticos e principais funções (VERTEMATTI,2004).

As funções dos geossintéticos são definidos de acordo com a NBR 12553:2003.

- Geotêxtil – Material permeável composto por fibras com orientações variadas. Com fios ou espécies de lâminas que apresentam características mecânicas e hidráulicas, facilitando sua utilização em obras geotécnicas.
- Geotêxtil Tecido – Apresenta uma orientação sendo denominadas como trama (sentido transversal) e urdume (sentido longitudinal).
- Geotêxtil não tecido- Produto sem uma orientação definida, sendo ligados por processos físicos, térmicos ou químicos.
- Geogrelha-Tem o formato de grelhas com a intenção de reforço tendo abertura para possibilitar a interação do meio. Pode ser constituída de forma uni ou bidirecional, apresentando elevada resistência a tração. Se diferem na maneira de ser fabricadas sendo extrudadas, soldadas ou tecidas.

O solo reforçado busca o aumento da resistência da obra frente a tensões que a mesma terá que suportar, então o objetivo é ter uma melhora mecânica do seu comportamento quando o solo e o geossintético trabalham juntos. Na Figura 10 seguir mostra um exemplo de muro reforçado.



Figura 10 - Esquema de um muro com solo reforçado. (BOCHENI,2009)

Devido ao histórico de rupturas de taludes na região de Ouro Preto a utilização de solo reforçado é uma opção para evitar tais acontecimentos, como a malha urbana tem crescido de forma desordenada, aliado a hipsometria e índices de pluviosidade justificou a necessidade da revista brasileira de geociências fazer um zoneamento das áreas de risco na cidade, como instrumento de gestão urbana. Destacando regiões que são mais susceptíveis a deslizamentos como pode ser visto na Figura 11.



Figura 12 - Exemplo de medida estrutural inadequada, Rua René Gianetti, Ouro Preto (FONTES,2011).

O solo reforçado se mostra uma opção viável para Ouro Preto por inúmeros fatores como a economia frente a outras intervenções, pode ser utilizado em terrenos que apresentam pouco acesso e áreas acidentadas, além de poderem receber paramentos como blocos escalonados e mantas biodegradáveis possibilitando a formação de jardins verticais, gerando baixos impactos visuais o que é ideal para uma cidade tombada pelo patrimônio histórico.

2.3.3 Estabilidade Externa

Seja qual for o tipo de estrutura de contenção devemos analisar primeiramente a estabilidade externa. Os meios clássicos para ocorrer instabilização de estrutura são: tombamento, deslizamento da base, capacidade de carga da fundação e estabilidade global. A Figura 13 mostra esquematicamente esses mecanismos de instabilidade externa.

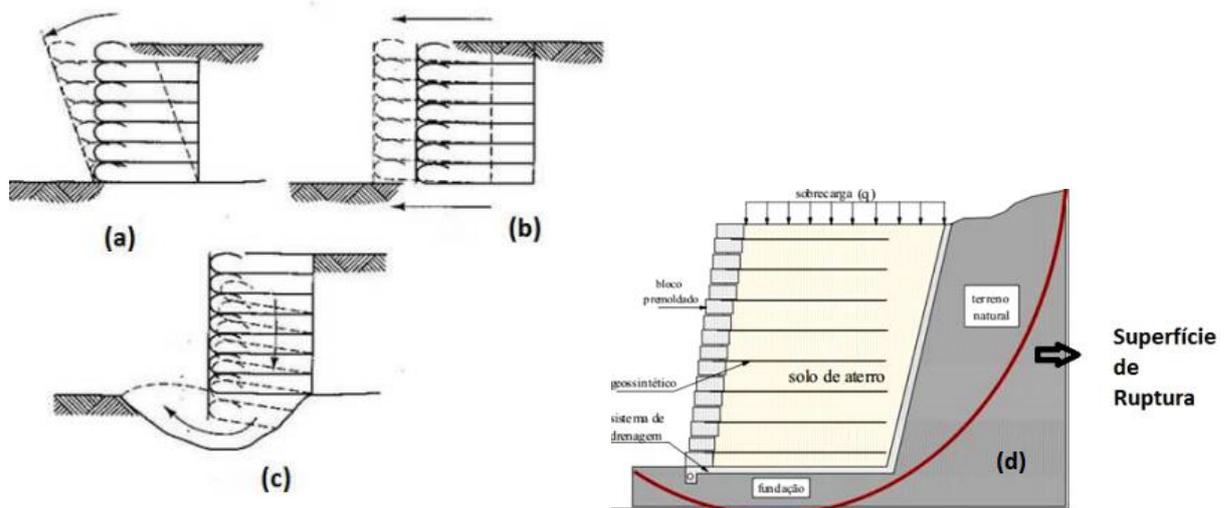


Figura 13-Mecanismos de instabilidade externa: (a) tombamento, (b) deslizamento, (c) capacidade de carga insuficiente e (d) instabilidade global (SANTOS,2014).

Deve-se definir o Fator de Segurança (FS) para cada caso clássico de instabilização.

O FS para tombamento é determinado pela equação abaixo que relaciona o momento com o empuxo intabilizante gerado.

$$F.S_t = \frac{W \cdot \frac{Lr}{2}}{E \cdot \frac{H}{3}}$$

Onde :

W = peso da massa em (kN)

Lr = comprimento do reforço ou largura da base (m)

H = altura da estrutura (m)

E = empuxo ativo (kN/m)

O FS para o deslizamento é determinado pela equação abaixo que relaciona a força resistente na base do muro e o empuxo de terra.

$$F.S_d = \frac{(\gamma \cdot H + q) \cdot Lr \cdot Tg\phi'}{E}$$

Onde:

ϕ' = ângulo de atrito na base interna do solo com o maciço ($^{\circ}$);

q é a carga distribuída na crista do terrapleno (kN/m); e

γ é o peso específico do solo (kN/m³).

O FS para a capacidade de carga do terreno é calculada conforma a equação abaixo. A excentricidade deve ser inferior a sexta parte do comprimento do reforço ou largura da base de solo reforçado. .

$$e = \frac{E \cdot H}{N} = \leq \frac{Lr}{6} \quad \sigma_{z,b} = \frac{N}{Lr - 2e}$$

Onde:

$\sigma_{z,b}$ é a tensão na base (kN/ m²); e

N resultante normal que atuam na base (kN).

Para a norma NBR 11682 (ABNT, 2009) os muros de gravidade e flexão devem atender no mínimo os valores de FS mostrados na Figura 14. Contudo para encostas com colúvios que ficam permanentemente saturados é necessário a inspeção de um engenheiro civil para determinar o fator de segurança.

Grau de Segurança	Fator de Segurança
Tomabamento	2,00
Deslizamento	1,50
Capacidade de Carga da Fundaç	3,00

Figura 14-FS mínimos para cada caso de instabilização.

Segundo Massad (2010) a superfície de ruptura deve ser traçada pelo método do equilíbrio limite; traçando várias malhas de centro. Para fazer essa verificação é necessário encontrar o menor fator de segurança por fatias, a partir da massa solo analisa as forças atuantes em uma fatia vertical, com isso traça-se tangentes ao longo das fatias e fornece uma possível superfície de ruptura. Tal instabilização esta relacionado com a estabilidade global.

2.3.4 Estabilidade Interna

Não menos importante deve analisar a instabilidade interna do terreno, para dimensionar qualquer estrutura com solo reforçado. Essa análise sustenta a não ruptura por tração, remoção do reforço, instabilidade na face ou instabilidade local (BECKER, 2009), como mostrado esquematicamente na Figura 15.

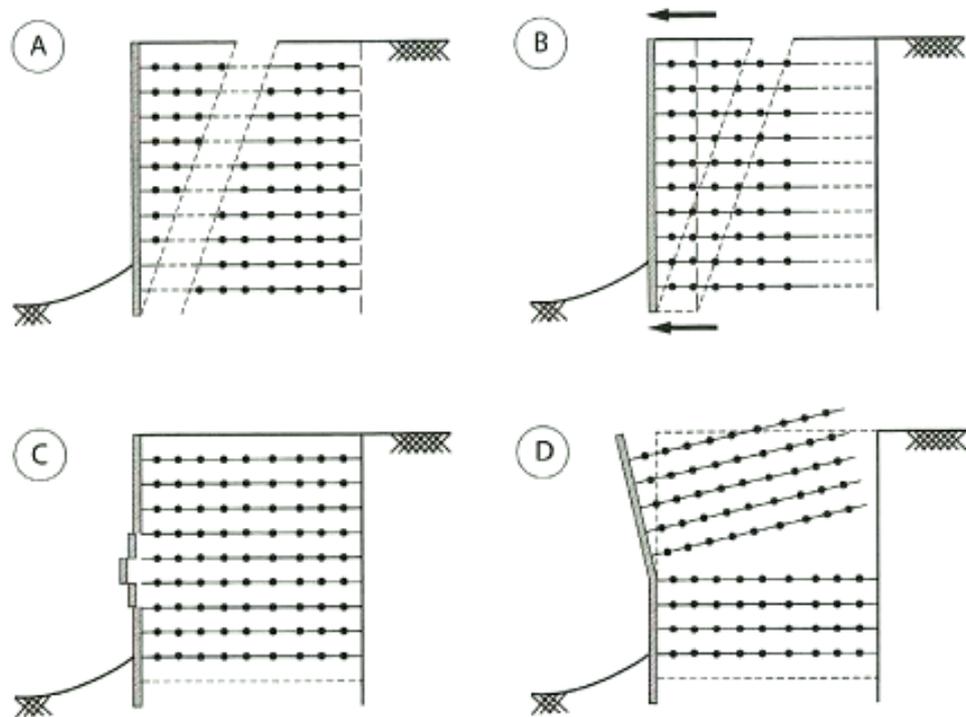


Figura 15-Mecanismos de instabilidade interna: (a) ruptura por tração, (b) arrancamento de reforço, (c) instabilidade na face e (d) instabilidade local (SANTOS,2014).

Um dos métodos utilizados para caracterizar a estabilidade do muro de solo reforçado de geossintético e uso de blocos de concreto como paramento é o método de Mitchell,1994 apud Santos, 2014, mesmo método utilizado pelo software ForTerra®(desenvolvido pela empresa HUESKER). O modelo do reforço linear é elástico, ou seja, não há deslizamento entre reforço e solo, por isso a compactação se torna tão importante na hora de excutar o muro. Deve analisar a tração máxima solicitante (T_{max}) pois ela não deve superar a menor resistência de projeto para cada camada do geossintético e nem a menor resistência ao arrancamento. Porém na face existe uma solicitação de tração (T) que também deve ser menor que a resistência admissível de conexão ($P_{r,0}$) para evitar desprendimento da face. Sendo a tensão máxima horizontal calculada conforme a equação abaixo.

$$T_{max} = S_v \cdot (\sigma'_x) m.$$

Onde:

T_{max} = a tensão horizontal máxima no reforço (kN/m);

S_v = o espaçamento vertical dos reforços (m); e

$(\sigma'_x) m$ = a tensão horizontal média na faixa estudada (kN/m).

Segundo Vertematti (2004) o índice de rigidez relativa (medida que é dada em função da área da seção dos reforços) é pré determinado de acordo com o tipo de reforço. Como mostrado na Tabela 12 , na equação utiliza-se o índice para cálculo dos parâmetro de deformabilidade.

Valores típicos para o Índice de rigidez relativa	
Tipo de Reforço	Sj
Geogrelhas poliamida	0,5-3,2
Geogrelhas(PET)	0,03-0,12
Geotêxteis	0,003-0,012

Tabela 12-Valores típicos de rigidez relativa (Adaptado de SANTOS,2014).

$$\beta = \frac{(\frac{\sigma'_{zc}}{P_a})^n}{S_i} \quad S_i = \frac{J_r}{K \cdot S_v \cdot P_a}$$

Onde:

B = o parâmetro de deformabilidade (adimensional);

Pa = a pressão atmosférica (kPa);

Si = o índice de rigidez (adimensional);

Sv = o espaçamento vertical (m);

K = o módulo da tangente inicial do modelo hiperbólico;

N = o módulo do expoente da curva; e

Jr = o módulo da rigidez a tração.

Para utilizar os ábacos da Figura 16 necessita de alguns parâmetros de entrada, primeiramente o ângulo de atrito, o valor do parâmetro de deformabilidade, tensão vertical atuante, tensão vertical máxima incluindo a compactação. Assim entrando com parâmetros determinamos o valor de X e com isso a tração máxima (T max).

$$\chi = \frac{T_{max}}{S_v \cdot S_h \cdot \sigma'_{zc}}$$

Onde :

Sv = o espaçamento vertical (m);

S_h = o espaçamento horizontal (m);

σ'_{zc} = a tensão vertical máxima (kN/m); e

T_{max} = a força de tração (kN/m).

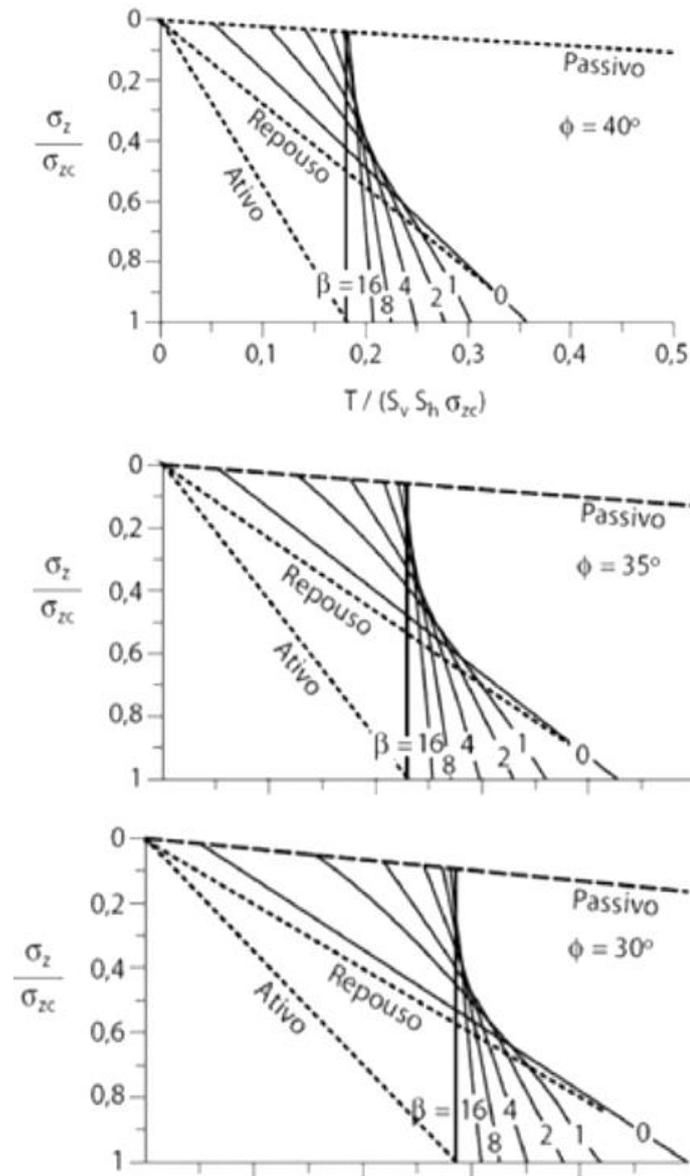


Figura 16- Ábacos para determinação de " χ " para o cálculo de T_{max} em estruturas verticais (MITCHELL, 1994).

E, por ultimo, a resistência ao arrancamento foi determinada através da Equação.

$$P_r = 2F^* \cdot \alpha \cdot \sigma'_z \cdot L_e \geq FS \cdot T_{max}$$

E o FS, fator de resistência ao arrancamento, foi determinado abaixo.

$$F^* = f_a \cdot \tan \theta$$

Onde:

L_e é o comprimento do reforço na zona resistente;

α é o fator de correção;

σ'_z é a tensão vertical;

F_a é o coeficiente de aderência, conforme Tabela 13

θ é o ângulo de atrito.

Tipo de Geossintético	Coeficiente Aderência	Fator de Escala
Geogrelhas	0,8-1,0	0,7-1,0
Geotêxteis	0,7-0,8	0,6-0,8

Tabela 13-Coeficientes de Aderência (Adaptado de SANTOS,2014)

2.3.5 Blocos de concreto para paramento de encostas

As estruturas de solo reforçado podem apresentar paramentos (material na face exterior do muro) levando vantagens como a resistência a intempéries, ações de vândalos e estética visual (principal benefício em Ouro Preto). Entre os tipos de paramento se destaca os blocos pré-moldados, pedra de mão, argamassas lançadas e vegetação. Os paramentos não apresentam nenhuma função estrutural. Na Figura 20 é apresentado exemplos de paramentos.



Figura 17-Tipos de paramento: (a) Pedra de mão; (b) Argamassas Lançadas; (c) Blocos pré-moldados e (d) Vegetação (JIREH,2016)(SOLOTRAT,2019)(FIXSOLO,2019)(SOPLACAS,2019).

Segundo Koerne (1998), o muro com manta geotêxtil apresenta-se com o melhor custo benefício quando comparado aos muros de gravidade, muros com grelhas metálicas e muro fogueira (crib wall), como pode ser visto na Figura 18 a seguir.

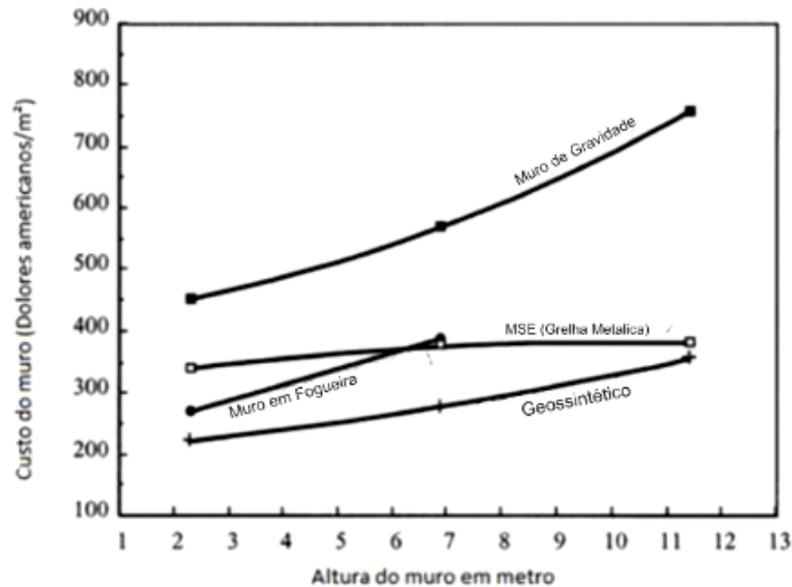


Figura 18-Valores das categorias de muro, mostrando as relações custo por altura (KOERNER,1998).

Dessa forma este tipo de muro se mostra como uma opção para Ouro Preto, além de ter um preço mais acessível quando comparado com outros, contudo ressalva-se que a pesquisa de Koerner (1998) não pode ser generalizada, pois a logística e a disponibilidade de material influenciam diretamente na relação preço por altura. Porém ele atende as prescrições do IPHAN, pois quando o rejeito de minério de ferro é adicionado ao concreto o mesmo tem um tom de cor amarronzado, o que daria um menor impacto visual em relação ao composto por um concreto convencional. Tendo como outra vantagem a possibilidade de plantar no seus escalonamentos, gerando verdadeiros jardins verticais pela cidade, como mostrado na Figura 19 a seguir.



Figura 19-Muro com plantas no seu escalonamento (MURROS TERRAE,2019).

2.4 Materiais e propriedades de interesse do concreto

O concreto hoje em dia é um dos materiais mais tradicionais e mais difundidos na construção civil. Sendo necessário maior estudo e desenvolvimento dos materiais que o compõe, afim de otimizar o seu processo de produção e o atendimento de requisitos como características uniformes, desempenho e durabilidade de acordo as novas exigências que vem surgindo no mercado (MONTEIRO.2006).

O concreto é formado basicamente por materiais heterogêneos. Composto na maioria das vezes por água, cimento, agregado graúdo e miúdos, podendo haver a incorporação outros materiais, como adições e/ou aditivos. E para que o concreto apresente as características necessária para cada caso, um fator que define basicamente é a proporção de materiais heterogêneos que o constitui. Para isso um estudo da influência dos materiais é necessário para alcançar o objetivo que ele tem.

Como material mais nobre o cimento se destaca de acordo com suas matérias primas, é formado com clínquer que é calcário e argila, sendo que sua produção é a etapa mais complexa e cara para fazer o cimento, adiciona-se gesso em quantidades inferiores a 3% da massa de clínquer para regular o início de tempo de pega, junto com isso tem o calcário que dá mais trabalhabilidade torna o produto mais plástico e menos poroso, a escória siderúrgica propriedades ligantes com maior durabilidade e resistência final e pozolanas que confere impermeabilidade. Assim o cimento Portland apresenta vários tipos e cada um tem uma característica respectiva e normalização brasileira como pode ver na Tabela 14 a seguir.

Cimento Portland	Norma	Sigla	Classe	Clinquer Gesso %	Mat. Carbontatico	Pozolana	Escória
Comum	5732	CP I	25/32/40	100	0-5	0-5	0-5
Composto	11578	CP II	25/32/40	99-95	0-10	0-14	-
Alto forno	5737	CP III	25/32/40	94-56	0-5	0	35-70
Pozolânico	5736	CP IV	25/32	65-25	0	15-50	0
Alt. Rest. Inci.	5733	CP V	-	85-45	0-5	0	0
Rest. Sulf.	5737	-	25/32/40	100-95	-	-	-
Baixo calor hydr.	13116	-	25/32/40	-	-	-	-
Branco	12989	CPB		-	0-25	-	

Tabela 14-- Características e normalização Brasileira dos tipos de cimento. (ABCP, 2002). Refazer a tabela com a mesma formatação das demais tabelas do trabalho.

O agregado miúdo é o segundo material mais utilizado na confecção dos concretos em gerais. Muitas vezes, o agregado miúdo apresenta em torno de três quartos do volume total do concreto, além de gerar economia, ele apresenta

vantagens técnicas aumentando a estabilidade dimensional e aumento da durabilidade da pasta de cimento pura (NEVILLE.1997), além de conferir resistência a compressão e trabalhabilidade que são essenciais para um bloco de qualidade (ABNT NBR 15961-1:2011).

2.5 Design dos Blocos de Concreto para paramento de contenção de encostas

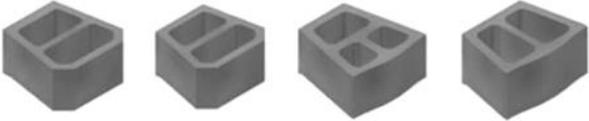
Os blocos de concreto têm que apresentar uma geometria encurvada o que permite utilizar esses blocos para muros que tenha curvas ao longo da sua construção como pode ser visto na Figura 20 a seguir.



Figura 20-Muro feito com blocos Terrae, blocos de paramento produzidos pela empresa Huesker (Huesker, 2019).

No Brasil a empresa Huesker detem a patente do método construtivo do muro Terrae. Este muro apresenta quatro tipos de bloco para paramento, sendo que a definição do bloco a ser utilizado será realizada em função das características desejadas. Na Figura 21, a seguir, observa que o muro pode alcançar grandes altura e grandes inclinações, chegando próximo a um ângulo de 90 graus.

Tabela de propriedades dos blocos Terrae



		Bloco F®	Bloco MF®	Bloco W®	Bloco MW®
Peças /m ²	unid.	13	13	13	13
Peso referencial	kg	25 - 30	22 - 26	28 - 33	27 - 30
Altura	cm	19,5	19,5	19,5	19,5
Largura	cm	40	40	40	40
Profundidade	cm	40	30	40	30
Resistência à compressão	MPa	6	6	6 a 18	6 a 18
Inclinação de face do muro	H:V	1:1 a 1:4	1:1 a 1:4	1:10	1:10
	graus	45 a 76	45 a 76	84	84
Altura máxima do muro	m	5,0	5,0	20,0	18,0

Figura 21-- Propriedades dos blocos fornecida pelo fabricante Huesker (Huesker, 2019).

Pensando na utilização do rejeito, um bloco com a substituição de 80% de agregado miúdo por RBMF utiliza 11,12 kg de material, pela Figura 21 mostrada anteriormente cada bloco preenche aproximadamente 0,08m² de face muro, ou seja para cada 1 m² de muro é utilizado aproximadamente 13 blocos, o que levaria ao reaproveitamento de 144kg de RBMF. Evitando a exploração de novas jazidas para agregado miúdo

2.5.1 Processo de produção dos blocos de paramento de solo reforçado por geossintéticos

O bloco do concreto para contenção de encostas é composto por cimento portland, normalmente CPV ARI - o que garante uma alta resistência inicial e otimização do tempo de produção; agregado miúdo, muitas das vezes sendo uma areia britada devido à falta de jazidas naturais próxima a grandes centros urbanos, e, o agregado graúdo, uma brita 00 que confere flexibilidade para fazer moldes variados.

Devido a restrições dos equipamentos industriais adotados, a mistura cimentícia destinada a produção dos blocos deve apresentar baixa umidade. Pois as máquinas, automatizadas ou pneumáticas, apresentam alto índice de vibração e prensagem, fazendo com que não necessite de um concreto fluido e sim bem seco. Depois de ser moldado, o bloco é armazenado a temperatura ambiente, porém na sombra para não receber insolação diretamente. Após 7 dias, esse bloco apresenta grande parte de sua resistência final e pode ser comercializado

2.3.1 Processo construtivo de estrutura de solo reforçado com geossintéticos e com uso de blocos de paramento

Para construir o muro utilizando o bloco deve primeiramente analisar a necessidade de altura e inclinação, sendo que o bloco F permite plantio dentro da sua cavidade frontal, dando uma melhor solução paisagística. Contudo não alcança alturas como a do bloco W que é preenchido por brita e não terra como o F.

Primeiramente, deve-se fazer a limpeza superficial do solo. Necessita a abertura de uma vala com 50 cm de profundidade e 60 cm de largura. Com isso vem a compactação da vala usando soquete (sapo) e a preparação de uma camada maior ou igual a 10cm de concreto, e logo depois fazendo o alinhamento com linha de pedreiro afim de não perder o prumo e o posicionamento do bloco sobre um concreto fresco, verificando seu alinhamento e nivelamento com linha e nível d'bolha, essa fase constitui a primeira fiada de blocos.

Após a primeira fiada os mesmos devem ser preenchidos com solo e manualmente compactados, lembrando que deve se manter a limpeza para facilitar o encaixe do dente dos blocos, o mesmo processo repete para a segunda fiada de blocos , chegando ao nível do terreno ele deve ser compactador com rolo pé de

carneiro, e assim colocar a geogrelha sendo que ela deve ser inserida a cada 3 camadas de blocos.

Porem há um isolamento de 15cm da terceira fiada e do fundo muro, ambos são preenchidos com areia afim de criar a camada drenante, os blocos são preenchidos com brita caso seja o bloco W ou com terra caso seja o bloco F. E dessa maneira o processo repete até chegar na altura final desejada. Em seguida a Figura 22 mostra os processos citados.



Figura 22- Procedimentos de execução de um Muro Terraes: (A) Abertura da vala; (B) Camada de concreto; (C) Colocação dos blocos W; (D) Preenchimento da vala com solo; (E) Nivelamento e limpeza dos blocos W; (F) Colocação do material geossintético; (G) Afastamento para a drenagem; (H) Preenchimento dos blocos W com brita e (I) Muro Terraes com cobertura vegetal (Huesker, 2019).

3 METODOLOGIA ;

3.1 Método de Análise da Estabilidade do Muro de Blocos de Concreto com solo reforçado com geossintéticos.

As análises vão seguir o tópico da metodologia apresentado no 2.3.3 e 2.3.4, em relação aos métodos de estabilidade externo e interno (método de MITCHELL,1994, apud, SANTOS,2014). E seguindo fatores do programa ForTerra® (desenvolvido pela empresa HUESKER). O programa dimensiona o muro em duas etapas diferentes, primeiramente o dimensionamento externo é realizado a análise de equilíbrio ao deslizamento,tombamento e o calculo das tensões na base do muro. Já para o dimensionamento interno depende de parametros como geometria do muro, presença de nível água ,carregamento na superfície e tipo de solo.

Para utilizar o programa é necessario um breve conhecimento sobre a encosta, como medidas, nível água e tipo de solo. Com isso foi escolhido um talude localizado na rua Xavier da Veiga no centro historico de Ouro Preto, o levantamento de cotas e das medidas da região foi feito em 2014, utilizando teodolito obteve as medidas e a linha natural do terreno. Outro fator importante para construção do muro é a existencia de solo suficiente para a execução da obra, alem da logistico de acesso na obra. Na Figura 23 mostra o levantamentodas das medidas reais projetado no AutoCad, versão 2017, situando a localização da encosta e suas medidas reais.

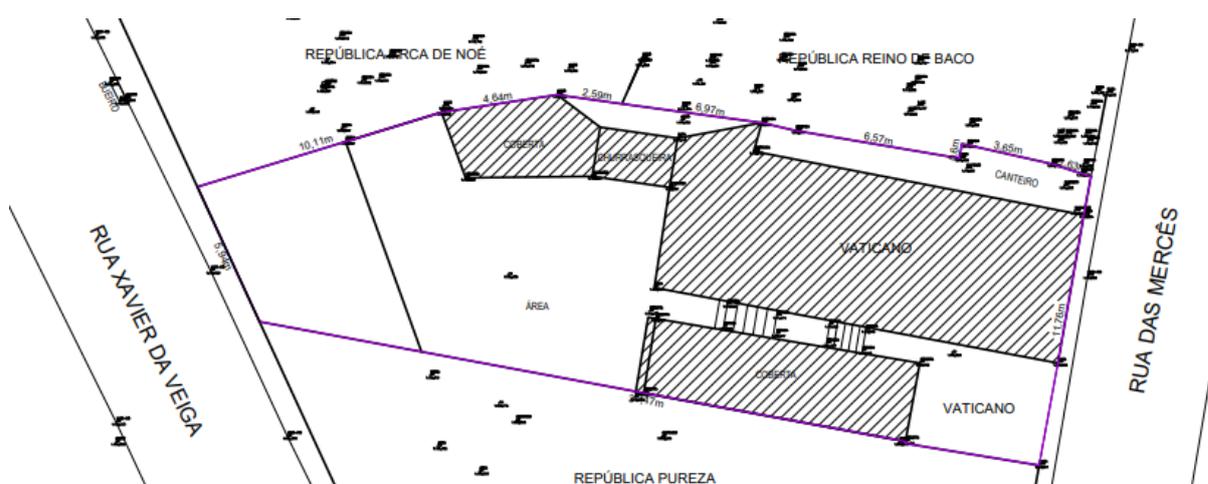


Figura 23-Levantamento da região onde contém a encosta, afim de se obter as medidas reais do terreno, medidas feitas com teodolito.

Foram tiradas fotos do terreno, afim de indicar a situação da encosta mostrando a necessidade de intervenção devido a possíveis cargas na crista, a chuvas torrenciais

e erosão do solo. Uma patologia que pode ser vista na Figura 24 é o caule da vegetação local retorcido, dando indicio de algum deslocamento de terra.



Figura 24-Patologias encontradas nas contenções existentes na encosta: (A) Trinca na viga Baldrame, possivelmente causada pela erosão, (B) Erosão do solo, (C) Vegetação com o caule retorcido (D) Desprendimento da Pedra de Mão do Muro existente.

Entre as imagens mostradas, as possíveis causas se devem a erosão de solo em que a viga baldrame se apoiava, surgindo trincas, a partir dos caules retorcidos da indicio que há deslocamento de massa no talude. Na Figura 24 observa-se que o atual muro está irregular, mostrando a necessidade de alguma manutenção.

Com as medidas topográficas estipuladas pelo teodolito, ainda há a necessidade de estimar o parâmetro de resistência do solo para utilizar o software. Contudo não houve tempo suficiente para extração de corpos de prova para uma análise laboratorial, assim os valores estipulados na Tabela 15 são os convencionalmente adotados na região de Ouro Preto (ROCHA, 2018), tais parâmetros foram utilizados no programa, mas a formação do solo em Ouro Preto é bem heterogênea devido à variedade da formação geológica da região, assim para um

estudo mais aprofundado seria necessário fazer todos os ensaios laboratoriais para determinar as características do solo.

	γ (nat)	C	ϕ'
Solo OP	19 kN/m ³	5 kN/m ²	30°

Tabela 15- Parâmetros do solo de Ouro Preto (Adaptado de ROCHA, 2018).

Utilizando a NBR 11682 (ABNT, 2009) ela define que as estruturas de contenção tem de suportar além dos esforços provenientes do solo , uma sobrecarga mínima de 20kPa sobre a superfície do terreno, no entanto a crista do terreno é uma região onde não haverá acesso de veículos e maquinas, porem a norma foi respeitada a favor da segurança.

3.2 Método de projeção do talude por uso do software

O ForTerra® (desenvolvido pela empresa HUESKER) foi o programa computacional utilizado para projetar o muro de blocos terrae, o programa é simples e apresenta um banco de dados com propriedades dos blocos escolhidos, das geogrelhas, dos tipos de solos e tipos de compactadores. É o programa utilizado para solos armados com paramento em blocos.

A execução do muro sera feita atras de um muro já existente datado do sec XIX, segundo a portaria n-312 do IPHAN todo conjunto arquitetônico deve ser mantido e as construções devem seguir os criterios afim de manter a paisagem local.

4 RESULTADOS

Para inserir os dados no programa necessitamos primeiramente das medidas reais, contudo o muro devia apresentar uma execução plausível para poder ser dimensionado, entre as opções seria fazer um muro de arrimo como uma base para o muro de solo reforçado. Contudo para um estudo mais aprofundado seria necessário ver a real estabilidade do muro do século XIX, analisando se o corte de solo atrás não afetaria sua conservação. Na Figura 25 mostra esquematicamente como ficaria essa opção.

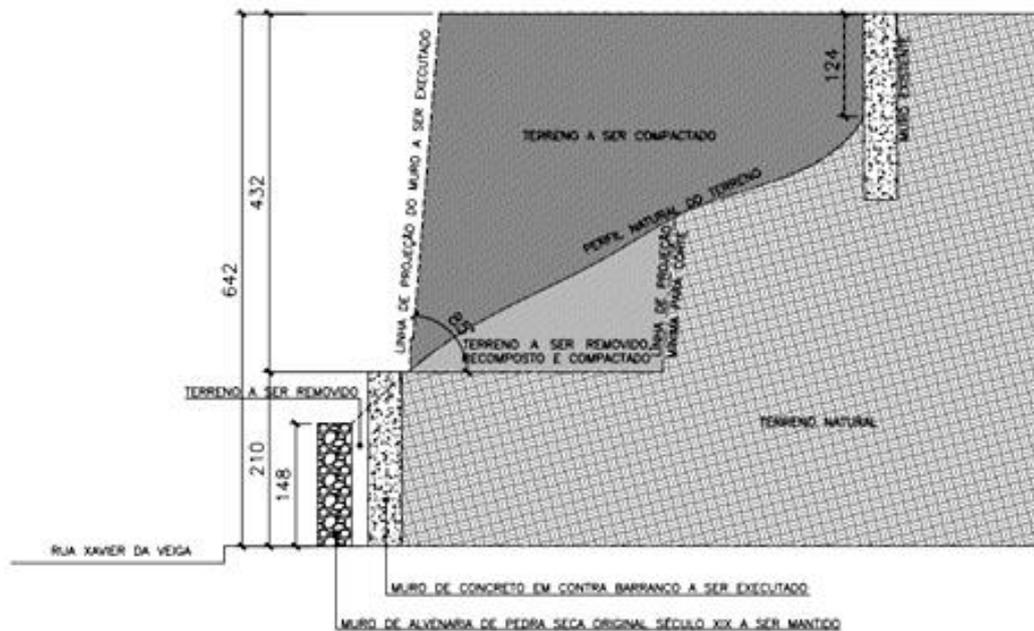


Figura 25 - Exemplo de execução de muro de solo reforçado

Entre as opções o dimensionamento foi feito com a execução de um muro de concreto atrás do já existente, isso ocorreu para diminuir o volume de corte de solo da encosta.

O muro estipulado para construir atrás não deve passar de 2,1m seguindo a portaria 312 do IPHAN, assim o muro de solo reforçado passou a ter uma altura máxima de 4,37m que somado com a base chega a 6,37m altura total da encosta.

Com as medidas já adotadas para execução inserimos na plataforma do software os dados referentes a altura livre (Hl), altura total (H) e peso específico do solo. O solo escolhido é o estipulado pelas características da região de Ouro Preto, como próximo a encosta existe um platô o solo a ser contido e a ser reforçado apresenta as mesmas características.

Contudo por questão de segurança o software determina que o B (comprimento do reforço) para o dimensionamento interno é de 70% de H e não menos que 3m, assim a dimensão longitudinal do reforço ficou em 3,36m.

Outro fator inicial para o dimensionamento é a escolha do bloco, entre as opções que o programa oferece foi adotado o bloco terrae W que apresenta Maior inclinação possível chegando a 85 graus. O terreno no topo do muro é horizontal, a sobrecarga adotada foi a estipulada pela norma NBR 11682 , nível do lençol foi adotado como zero pois não a conhecimento da encosta a respeito desse dado, a largura da sobrecarga foi ao longo da crista do muro todo e a distância do topo do terreno ao início da sobrecarga foi nula a favor da segurança. Assim o layout das medidas de entrada ficou conforme a Figura 26.

ForTerra 2

Arquivo Ajuda

Dimensionamento Externo

Muro

Bloco Terra W

SOLO OP

β 85°

HI 4.4 m

He 0.4 m

H 4.8 m

γ 19 kN/m³

B 3.36 m

Terreno no topo do muro

Terrapleno Horizontal

Talude Infinito

Sobrecarga e nível d'água

q 20 kN/m² Lqt 5.94 m

xq 0 m Hw 0 m

Solo a ser contido

SOLO OP: [customizado]

c 5 kPa ϕ 30°

γ_{nat} 19 kN/m³ ϕ_1 16°

γ_{sub} 5 kN/m³ ϕ_b 26°

Calcular

Clique aqui para visualizar o muro esquemático

Legenda

W: 117.62

Q: 51.59

C: 28.3

U: 0

N: 146.93

E: 56.16

E 56.16 kN

58°

ForTerra 2

Arquivo Ajuda

Dimensionamento Externo

Resultados

E 56.16 kN

Ev 10.72 kN

Eh 55.13 kN

e 0.08 m

σ_p 107.51 kN/m²

σ_t 81.27 kN/m²

Tombamento

FSM (c/ Ev) 6.99

FSM (s/ Ev) 6.57

Deslizamento

FSD (c/ Ev) 2.81

FSD (s/ Ev) 2.71

Dimensionamento Interno

Voltar

Clique aqui para visualizar o muro esquemático

Legenda

W: 117.62

Q: 51.59

C: 28.3

U: 0

N: 146.93

E: 56.16

E 56.16 kN

58°

Para variar o ângulo teta pressione [CTRL] e mova o mouse sobre o gráfico [E x teta].

Figura 26- Dimensionamento externo com os parâmetros adotados

O programa apresentou um valor de empuxo máximo com a inclinação de 58 graus, e nessa situação os fatores de segurança mínimos a tombamento e deslizamento foram 6,57 e 2,71 respectivamente, ou seja, valores que atendem a norma NBR 11682.

Após o dimensionamento externo foi feito o interno para isso é necessário informar qual tipo de compactador, a escolha foi do tipo sapo que é o mais ideal para a execução da obra, com isso é definido o peso estático e dinâmico do compactador, a vida útil da obra foi a maior possível diminuindo a tração admissível da geogrelha. Entre as geogrelhas foi adotada a FORTRAC MP (PVA) pois apresenta o modulo de rigidez aproximadamente duas vezes mais alto que a geogrelha FORTRAC comum. E entre os tipos foi adotado a que tem menor tração admissível, como pode ser visto na Figura 27 a seguir.

Forterra 2 - Dimensionamento Interno

Geometria do Muro

B m H m B/H m

Compactador

Soquete(sapo)

Qe kN Qd kN A m²

Solo de Aterro

SOLO OP

c kPa K kN/m² n

γ kN/m³ Ku kN/m² Rf

φ °

Legenda

Geogrelhas

FORTRAC Vida útil da obra: anos FR_{fl} FM₁₂

FORTRAC T Ph do solo: FR_{amb}

FORTRAC MP (PVA) Solo do maciço:

Fator de Segurança Mínimo: Máxima Deformação Total Admissível %

Nome	T adm(kN/m)	FR di	FRG	Jc(kN/m)	Jto(kN/m)	Jlp(kN/m)
<input checked="" type="checkbox"/> Fortrac J400 MP	9,51	1,05	2,1	357	263	244
<input type="checkbox"/> Fortrac J700 MP	16,65	1,05	2,1	625	461	427
<input type="checkbox"/> Fortrac J1100 MP	26,16	1,05	2,1	982	724	671
<input type="checkbox"/> Fortrac J1600 MP	38,06	1,05	2,1	1429	1053	976
<input type="checkbox"/> Fortrac J2200 MP	52,33	1,05	2,1	1964	1447	1341
<input type="checkbox"/> Fortrac J4000 MP	95,14	1,05	2,1	3571	2632	2439

1 Peso específico do solo de aterro

Figura 27- Parâmetros de entrada para dimensionamento interno.

Dimensionando obteve os seguintes resultados Figura 28.

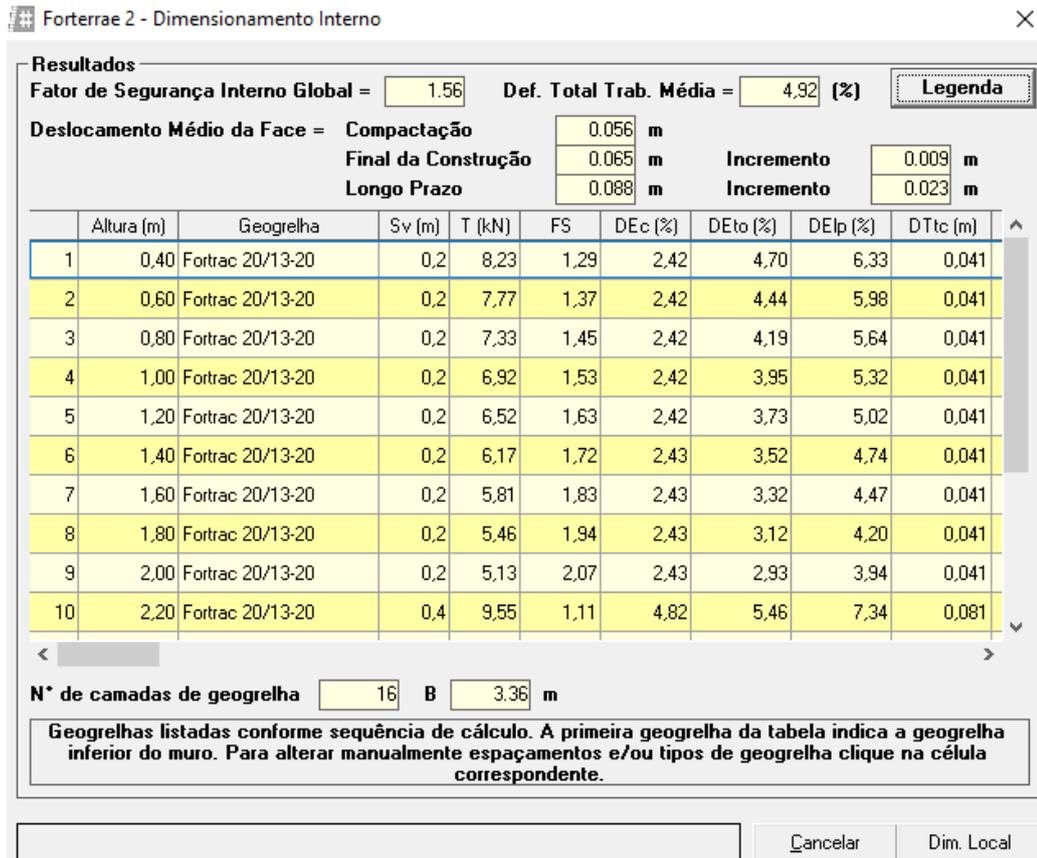


Figura 28- Resultado do dimensionamento interno.

O fator de segurança interno global foi de 1,56 mostrando ser um valor satisfatório. A seguir na Figura 29 um esboço gerado pelo programa de como ficaria o muro e os espaçamentos verticais seguindo as recomendações do programa.

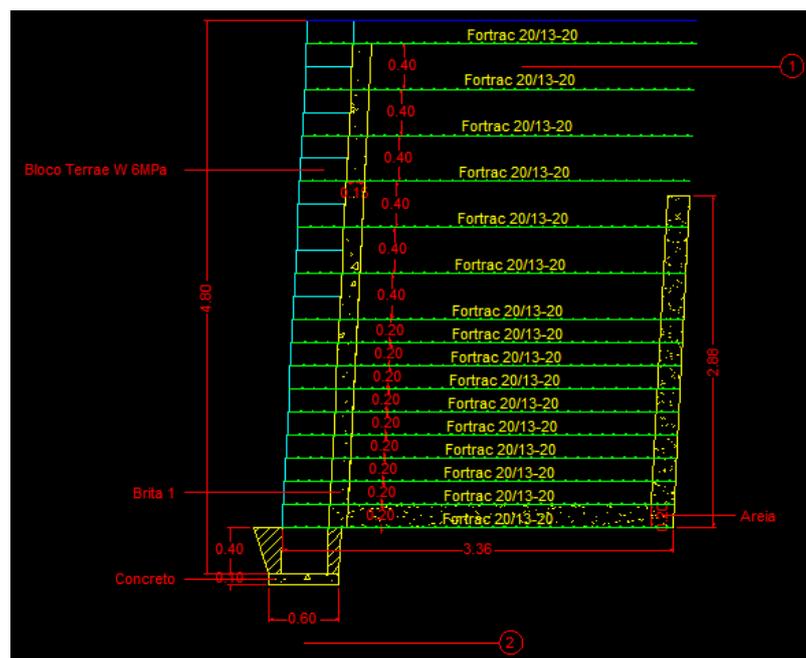


Figura 29 - Esboço dos espaçamentos verticais da manta.

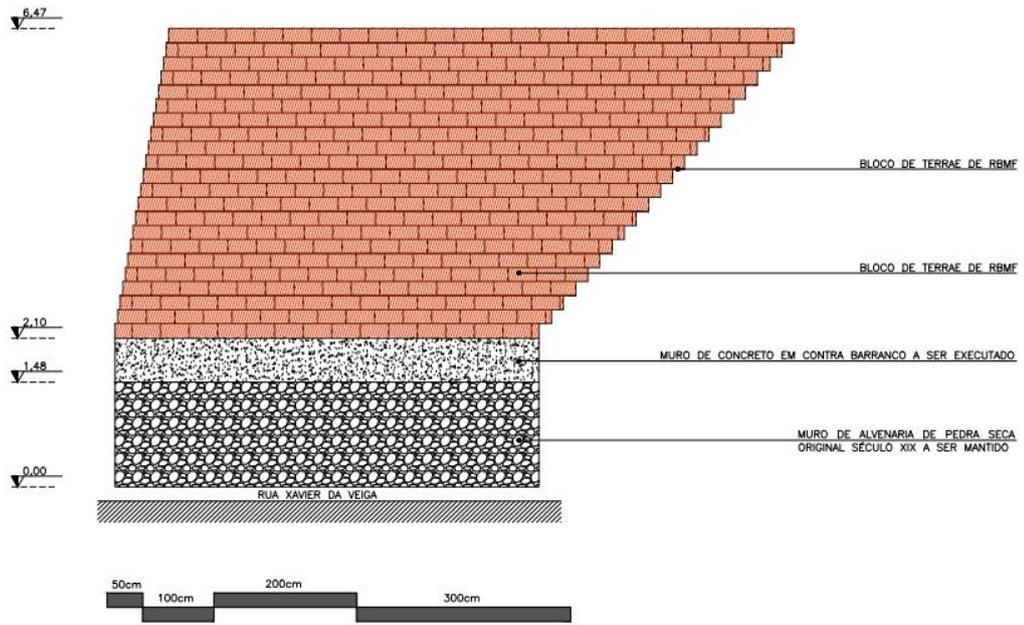


Figura 31- Vista Frontal do muro

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi abordado as propriedades físicas e químicas do RBMF, mostrando seu potencial uso para diversas áreas na construção civil. A FRX do RBMF mostrou nenhum elemento químico que levaria a reações álcali-agregado, carbonatação ou nocivo ao meio ambiente. A DRX apresentou composição mineralógicas como o quartzo que já é presente nos agregados miúdos, a gipsita que é utilizada na fabricação do cimento, caulinita com funções pozolânicas. A imagem de MEV mostrou que o RBMF interage com a matriz do concreto. A granulometria mostrou a necessidade de utilizar o RBMF junto a uma areia natural, esta com a curva dentro da Zona Ótima, afim de ajustar granulometricamente o *mix* de agregados para uma composição próxima a da Zona Utilizável, a utilização de RMF formou um concreto mais denso. A tomografia computadorizada mostrou uma diminuição da quantidade de poros com a adição de rejeito, não houve expansibilidade expressiva. A absorção de água está dentro dos valores de referência e a resistência a compressão apresentou resultados bem mais altos que o necessário e uma resistência que suportaria um colapso, chegando ao seu estado limite último. Com isso, pode-se afirmar que há um potencial tecnológico uso do RMF em substituição parcial do agregado miúdo.

Dentro dos diversos tipos de contenção de encostas apresentados foi destacado o sistema de estruturas com solo reforçado por geossintéticos, sendo uma estrutura segura e economicamente viável quando comparada com outras, além de apresentar uma execução plausível para a região de Ouro Preto. O acréscimo de rejeito torna o bloco com um tom avermelhado, melhorando o aspecto visual quando comparado com outros muros a flexão ou estruturas ancoradas, além de ser uma estrutura economicamente mais viável, e não necessita de mão de obra especializada como alguns muros de gravidade. Assim o método construtivo de solo reforçado tem um grande potencial em Ouro Preto.

A projeção de estrutura de solo reforçado utilizando o software apresentou valores satisfatórios de fator de segurança, além de uma execução possível para a encosta estudada. A tonalidade de um marrom avermelhado do bloco se deve pela presença de quase 35% de Fe_2O_3 , assim o bloco tem a aparência de um solo natural. Além disso pode haver plantas no face do muro quando utilizado o bloco F, levando a

formação de jardins verticais. Com isso o método construtivo atende os aspectos técnicos e arquitetônicos especificados pelo IPHAN.

Portanto há um potencial uso de RMF em blocos destinados para paramento de estruturas de solo reforçado por geossintéticos em Ouro Preto.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2003). **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. NBR NM 248. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 5p., São Paulo.

_____. (2001). **Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio**. NBR 9939. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 8p., São Paulo.

_____. (1987). **Amostragem de agregados**. NBR 7216. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 13p., Rio de Janeiro.

_____. (1994). **Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural – Determinação de resistência a compressão e da absorção de água**. NBR 10.834. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 12p., Rio de Janeiro.

_____. (2004). **Classificação de resíduos sólidos**. NBR 10.004. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 11p., Rio de Janeiro.

_____. (1991). **Cimento Portland de alta resistência inicial**. NBR 5733. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 5p., São Paulo.

_____. (2003). **Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. NBR NM 52. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 7p., São Paulo.

_____. (2003). **Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. NBR NM 53. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 9p., São Paulo.

_____. (1996). **Ensaio de resistência à compressão**. NBR 7215. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 21p., Rio de Janeiro.

_____. (2009). **Estabilidade de encostas**. NBR 11.682. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 14p., São Paulo.

_____. (1980). **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. NBR 6120. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 5p., São Paulo.

_____. (1996). **Execução de tirantes ancorados no terreno**. NBR 5629. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 15p., São Paulo.

_____. (2011). **Alvenaria estrutural blocos de concreto**. NBR 15961. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABRÃO, P. **O uso de pozolanas como material cimentício suplementares: disponibilidade, reatividade, demanda, de água e indicadores ambientais** Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, (2019).

AMARAL, F. E. S., F. G., **“Deslizamento de Lama Turfosa Ocorrido em Campos do Jordao, SP, em agosto de 1972”**. 17p. Disponível em < www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/bigusp/article/view/2060/1822>. Acesso em 01 de junho de 2019.

ALVES, R. **ÓrgãosE federais se unem para atuação conjunta em segurança de barragem** Disponível em <https://www.ana.gov.br/noticias/orgaos-federais-se-unem-para-atuacao-conjunta-em-seguranca-de-barragens> Acesso em 19 de julho de 2019

BEZERRA, GOULART C., **Caracterização do rejeito de minério de ferro (iot) e avaliação da sua influência no comportamento físico-químico e mecânico de pastas de cimento**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 150p., (2017).

BECKHOFF, **Fundamentos teóricos da técnica de análise espectrométrica por fluorescência de raios-X**. Pontifca Universidade Católica – Rio de Janeiro (2006).

BORGES, J. M. L., **Aterro sobre solos moles reforçados com geossintético**. Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal,439p.,(1995).

BOCHENI, F. **Contenção de encostas, muro a gravidade, solo reforçado** (2009)

CARVALHO, P. L. et. al. **Minério de ferro**. Banco Nacional do Desenvolvimento – BNDES Setorial, nº39, p. 197-234, (2014).

CARVALHO, P. L . et. al. **Minério de Ferro - Relatório da Indústria brasileira do cimento: base para a construção do desenvolvimento**. Banco Nacional do Desenvolvimento – BNDES Setorial, nº39, p. 197-233, Encontro da indústria para a sustentabilidade, Brasília – DF, (2012).

Castro, J., Sobreira, F., Gomes, R., Gomes, G., **Proposição de procedimento preventivo de riscos geológicos em Ouro Preto - BR com base em histórico de ocorrências e sua correlação com a pluviosidade**, Revista Brasileira de Geociências março de 2012.

Cimentos Portland, **características e normalização brasileira** (ABCP, 2002)

COSTA, E. B. **"Totalidade urbana e totalidade-mundo, das Cidades coloniais barroca face a patrimonialização"** Tese de Doutorado, USP, São Paulo, SP, Brasil. Acessado; www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-14032011-104656/pt-br.php

DAMINELI, B. Luís **(Catálogo USP), teses de doutorados**. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-19092014-103459/en.php>

Diretoria de Fiscalização. **Classificação das barragens de mineração**. Data base dezembro de 2016. 2016b.

DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro**. Ano base 2016

DNPM. **3º Congresso Internacional de Direito Minerário – DIRMIN**. Brasília, de 8 a 10 de maio de 2017.

FONTES, W. C., 2013, **Utilização do rejeito de barragem de minério de ferro como agregado reciclado para argamassas de revestimento e assentamento**. Dissertação de M.Sc., UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil

FEAM. **Inventário estadual de barragens do estado de Minas Gerais**. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/inventario/inventrio%20de%20barragens%20012.pdf>

FEAM, **Fundação Estadual de Meio Ambiente. Inventário de resíduos sólidos da mineração**: ano base 2013. Disponível em: < <http://www.feam.br/> >. Acessado em: 07 fev. 2015

FERRANTE, F. **Estudo de viabilidade para recuperação de minério de ferro em rejeitos contidos em barragens** Dissertação de mestrado– Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014

FONTES, M. M..” **Contribuição para o desenvolvimento da Metodologia de Análise ,Gestão e Controle de riscos Geotécnicos para a Área Urbana da Cidade de Ouro Preto’** Dissertação de mestrado (Programa de Pós Graduação em Geotecnia da UFOP) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011

ROCHA, I. P. **Análise custo-benefício de estruturas de contenção de concreto para a região da cidade de Ouro Preto - MG.** 2018. 62 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

GOBBO, L. A. **Aplicação da difração de raios-X e método de Rietveld no estudo de cimento Portland.** Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. USP: São Paulo, 2009

HUESHER – Acessado em <https://www.huesker.com.br/produtos/geossinteticos/sistemas/fortrac-muro-terrae.html>

IBRAM – **Instituto Brasileiro de Mineração. Informações sobre a economia mineral brasileira –2015**

JM dos Reis Neto, AP Fiori, AP Lopes **A microtomografia computadorizada de raios x integrada à petrografia no estudo tridimensional de porosidade em rochas,**Revista Brasileira de Geociencias 2011

KOERNER, R.M. **Geosynthetic reinforced segmental retaining walls,**2001. 28p. Paper, 2001.

LINS, Fernando A. F. **Concentração gravítica. In: Tratamento de minérios.** 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. cap. 7, p. 301-325

LISBOA, R., **Correio Brasiliense,** disponível em <https://www.correiobrasiliense.com.br/app/noticia/brasil/2019/02/11/interna-brasil,736670/veja-como-ficaria-congonhas-mg-em-caso-de-rompimento-das-barragens-l.shtml>

LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. **Introdução ao tratamento de minério. In: Tratamento de minérios.** 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. cap. 1, p. 3-18.

MASSAD, F., **Obras de Terra**. 2ed. São Paulo, Editora Oficina de Textos. 2003.

MARTINS, J., BORGES, A. A., 2002, “**O aproveitamento de lamas de minério de ferro por flotação colunar**”. In: XIX ENTMME, pp. 211–215, Recife, PE

MARTINEZ, C. B. “**Modelo de barragens**”.Disponível em : <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/01/28/entenda-como-funciona-a-barragem-da-vale-que-se-rompeu-em-brumadinho.ghtml>

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M, 2006, **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. 3 ed. California, Copyright by the McGraw-Hill Companies

MINERAÇÃO | “ **Sustentabilidade socioambiental da mineração**” BNDES Setorial 47, p. 333-390

NEVILLE, A.M., 1997, **Propriedades do Concreto**. 2 ed. São Paulo, Trad. Salvador E. Giamusso, Ed. Pini.

PEIXOTO, R. F.; BATISTA, J. O. S.; COSTA, E. C. P.; SANTOS, D. H.; SANT’ANA, J. N.; BASTOS, L. A. C.; FONTES, W. C., MENDES, J. C. **Utilização de rejeito de barragem de minério de ferro na construção civil**. 2016. Relatório de Pesquisa. Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto, Abril de 2016

PEREIRA, E. L. 2005, ‘**Estudo do potencial de liquefação de rejeitos de minério de ferro sob carregamento estático**’ Dissertação de M.Sc., UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil

PORTELLA, M.O, 2015, “**Efeitos colaterais da mineração no meio ambiente**”, Revista Brasileira de Políticas Públicas, v.5, n.3.

PORTARIA Nº 312, DE 20 DE OUTUBRO DE 2010. **IPHAN**, Ouro Preto, MG, Brasil.

REVISTA **Brasileira de Geociências** volume 42 (I),2012

SANT’ANA, J. N.” **Estudos de reaproveitamento dos resíduos das barragens de minério de ferro para uso nas rodovias e fabricação de blocos intertravados**”Dissertação de Mestrado,CEFET-MG,Belo Horizonte, MG, Brasil-2013

SANTOS, D P, **Estrutura de Contenção em Solo Reforçado**. Trabalho de Conclusão de Curso-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro,2014

SCILLAG, D , 2017, diretora do CBCS – **Conselho Brasileiro de Construção Sustentável**. Acessado em :https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/os-verdadeiros-impactos-da-construcao-civil_2256_10_20

SINDUSCOP, disponível em <https://sindusconsp.com.br/release/sinduscon-sp-construcao-civil-encerra-2017-com-menos-125-mil-vagas/>

SILVA, P. M. A., VIANA, P. J., e CAVALCANTE, L. B. A., 2011, **Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração**

SOBREIRA, F. G., ARAÚJO, L. G., BONUCCELLI, T. J. **Levantamento de soluções estruturais para a contenção de encostas em Ouro Preto**. Relatório técnico. Convênio IPHAN/UFOP, Ouro Preto, MG, 1990. 91p

SOBREIRA, 1990; Sobreira et al., 1992; Fonseca e Sobreira, 1997; Gomes et al, 1998; Bonuccelli e Zuquette, 1999; Fernandes, 2000; Gomes, 2002; Fernandes et al, 2002; Pinheiro et al , 2004; Gomes et al., 2004

Sobrinho, A., Amaral, A., Dantas, J., Dantas, J., **Gipsita** - Balanço Mineral Brasileiro 2001

TROPIA, E. **Ouopress** disponível em <http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2012/01/bombeiros-encontram-um-corpo-em-area-de-deslizamento-em-ouro-preto.html>

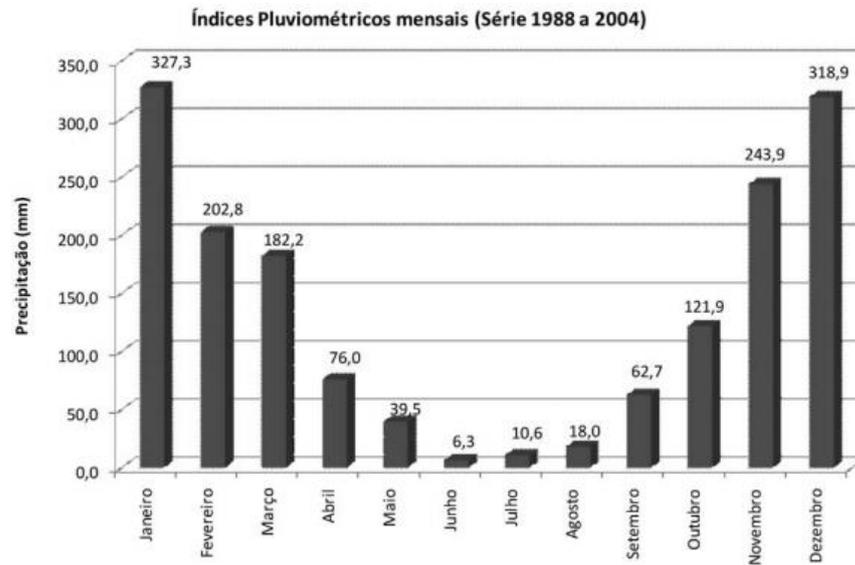
VERTEMATTI, C., **Manual Brasileiro de Geossintético**. São Paulo, 2004.

WOLFF, A. P. **Caracterização de rejeitos de minério de ferro de minas da Vale**. Ouro Preto: UFOP, 2009. 90 p. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia de Mina) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

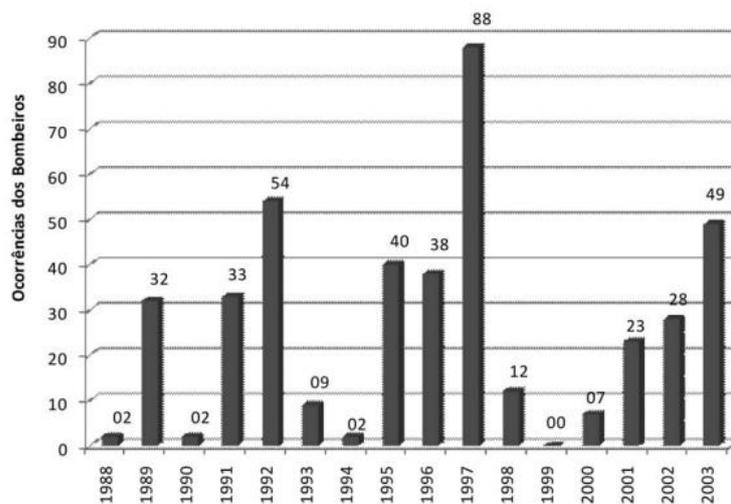
XV Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental X Simpósio do Curso de Especialização em Educação Ambiental e Recursos Hídricos 04 a 07 de Outubro de 2016. EESC. São Carlos-SP. Brasil
“RESÍDUOS DE MINERAÇÃO: CENÁRIOS E DESAFIOS NO CONTEXTO BRASILEIRO

6 ANEXOS

Anexo 1: Tabelas de índices pluviométricos mensais, classificação das áreas críticas de Ouro Preto e de Inventário de ocorrências.



Nível	Risco	Concentração	Área
0	Mínimo	Esparsos	Espalhados
1	Baixo	Pequena	Pequenas
2	Médio	Pequena	Grandes
3	Alto	Grande	Grandes



Anexo II: Ensaio de Solubilização e Lixiviação

Código ASL: 014346/65319
 Identificação da Amostra: REJEITO GERADO DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE FERRO
 Matriz: RESÍDUO
 Data de Coleta: 25/01/2010

RESULTADOS ANALÍTICOS

LAUDO DE ANÁLISE DE MASSA BRUTA

Parâmetro	Método	UD	LD	LQ	VMP	Resultado
pH	SMEWW 4500-H+.B	U.pH	0,1	NA	2,0 A 12,5	6,0
Sulfeto	SMEWW 4500-SO ₂ - G e H	mg/Kg	0,0013	0,0260	500	3,65
Cianeto	SMEWW 4500-CN C e F	mg/L	0,0007	0,0022	250	<0,002
Óleos e Graxas	USEPA 9070A/9071B	mg/Kg	0,33	1,11	NA	586
Líquidos Livres	ABNT 12988	ml/g	1 ml/100G	NA	NA	Presente

LAUDO DE ANÁLISE DE TESTE DE LIXIVIAÇÃO

pH final	4,8
Tempo de lixiviação	18 horas
Teor de sólidos secos	77%

Parâmetro	Método	UD	LD	LQ	VMP	Resultado
Arsênio	USEPA 6010 B	mg/L	0,001	0,004	1,0	<0,004
Bário	USEPA 6010 B	mg/L	0,0004	0,001	70	<0,001
Cádmio	USEPA 6010 B	mg/L	0,0004	0,001	500	<0,001
Chumbo	USEPA 6010 B	mg/L	0,001	0,005	1,0	<0,005
Cromo Total	USEPA 6010 B	mg/L	0,0008	0,003	5,0	<0,003
Fluoreto	USEPA 300.1	mg/L	0,0063	0,0210	150	<0,03
Mercurio (Lixiviado)	USEPA 7470	mg/L	0,00003	0,0001	0,1	<0,0001
Prata	USEPA 6010 B	mg/L	0,0005	0,002	5,0	<0,002
Selênio	USEPA 6010 B	mg/L	0,001	0,003	1,0	<0,003

LAUDO DE ANÁLISE DE TESTE DE SOLUBILIZAÇÃO

pH final	6,0
Volume de água deionizada	2 litros
Tempo de solubilização	7 dias
Membrana filtrante utilizada	0,45um

Parâmetro	Método	UD	LD	LQ	VMP	Resultado
Fenóis	Standard Methods 5530	mg/L	0,0003	0,0009	NA	0,53
Alumínio	USEPA 3050 B	mg/L	0,0004	0,001	0,2	0,300
Arsênio	USEPA 6010 B	mg/L	0,001	0,004	0,01	<0,004
Bário	USEPA 3050 B	mg/L	0,0004	0,001	0,7	0,300
Cádmio	USEPA 3050 B	mg/L	0,0004	0,001	0,005	<0,001
Chumbo	USEPA 3050 B	mg/L	0,001	0,005	0,01	<0,005
Cianeto	SMEWW 4500-CN	mg/L	0,0007	0,0022	0,07	<0,002

É proibida a reprodução parcial deste documento.
 Os resultados referem-se exclusivamente as amostras analisadas.

Página 50 de 65

Rua 21, 470 esq. Av 13 - Rio Claro - São Paulo - Tel. (19) 2112-8900 - aslaa.com.br

<https://www.aslaa.com.br/laudos/impresso.asp>

Código ASL: 014346/65319
 Identificação da Amostra: REJEITO GERADO DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE FERRO
 Matriz: RESÍDUO
 Data de Coleta: 25/01/2010

Código ASL: 014346/65319
 Identificação da Amostra: REJEITO GERADO DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE FERRO
 Matriz: RESÍDUO
 Data de Coleta: 25/01/2010

RESULTADOS ANALÍTICOS

Cloro	USEPA 9056a	mg/L	0,4	1,3	250	0,55
Cobre	USEPA 3050 B	mg/L	0,0005	0,002	2	<0,002
Cromo	USEPA 3050 B	mg/L	0,0008	0,003	0,05	<0,003
Ferro	USEPA 6010 B	mg/L	0,0005	0,001	0,3	1,038
Fluoreto	USEPA 300.1	mg/L	0,0063	0,0210	1,5	<0,03
Manganês	USEPA 3050 B	mg/L	0,0002	0,0007	0,1	<0,0007
Mercurio	USEPA 7470	mg/L	0,00003	0,0001	0,001	<0,0001
Nitrato	USEPA 300.1	mg/L	0,04	0,14	10,0	0,63
Prata	USEPA 6010 B	mg/L	0,0005	0,002	0,05	<0,002
Selênio	USEPA 6010 B	mg/L	0,001	0,003	0,01	<0,003
Sódio	USEPA 3050 B	mg/L	0,02	0,05	200	<0,05
Sulfato	USEPA 300.1	mg/L	0,0180	0,0600	250	1,32
Surfactantes	SMEWW 5540C	mg/L	0,069	0,23	0,5	0,48
Zinco	USEPA 3050 B	mg/L	0,0007	0,002	5,0	0,076

LAUDO DE ANÁLISE DE TESTE DE LIXIVIAÇÃO

pH final	5,1
Tempo de lixiviação	18 horas
Teor de sólidos secos	82%

Parâmetro	Método	UD	LD	LQ	VMP	Resultado
Aldrin e Dieldrin	EPA 8270	µg/L	0,0160	0,005	NA	<0,055
Clordano (todos os isômeros)	USEPA 8270	µg/L	0,0190	0,0650	20	<0,065
DDT (todos os isômeros)	USEPA 8270	µg/L	0,0360	0,123	200	<0,123
2,4 D	USEPA 8151	µg/L	0,0112	0,0374	3000	<0,0374
Endrin	USEPA 8270	µg/L	0,0007	0,0024	NA	<0,00018
Heptacloro e seu Epóxido	USEPA 8270	µg/L	0,0013	0,0045	3	<0,0045
Lindano (γ-BHC)	USEPA 8270	µg/L	0,0090	0,0290	200	<0,029
Metoxicloro	USEPA 8151	µg/L	0,0040	0,0130	2000	<0,013
Pentaclorofenol	USEPA 8151	µg/L	0,011	0,037	900	<0,037
Toxafeno	USEPA 8270	µg/L	0,00060	0,002	500	<0,0019
2,4,5 -T	USEPA 8151	µg/L	0,0010	0,0033	200	<0,0026
2,4,5 -TP	USEPA 8151	µg/L	0,0010	0,0033	1000	<0,0011
Benzeno	USEPA 8260	µg/L	0,4891	1,6296	500	<1,6296
Benzo (a) pireno	USEPA 8100	mg/L	0,0100	0,0200	70	<0,02
Cloro de vinila	USEPA 8260	µg/L	0,4891	1,6286	500	<1,6286
Clorobenzeno	USEPA 8260	µg/L	0,2219	0,7391	100000	<0,7391
Clorofórmio	USEPA 8260	µg/L	0,3002	0,9996	6000	<0,9996
Cresóis	USEPA 8270	µg/L	0,0060	0,0200	200	<0,02
o - Cresol	USEPA 8270	µg/L	0,0050	0,0168	200	<0,0168
m - Cresol	USEPA 8270	µg/L	0,0038	0,0128	200	<0,0128
p - Cresol	USEPA 8270	µg/L	0,0047	0,0157	200	<0,0157
1,4 - Diclorobenzeno	USEPA 8260	µg/L	0,0026	0,0088	7500	<0,0088

É proibida a reprodução parcial deste documento

Os resultados referem-se exclusivamente as amostras analisadas.

Página 51 de 65

Rua 21, 470 esq. Av 13 - Rio Claro - São Paulo - Tel. 19 2112 8900 - aslaa.com.br

Código ASL: 014346/65319
 Identificação da Amostra: REJEITO GERADO DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE FERRO
 Matriz: RESÍDUO
 Data de Coleta: 25/01/2010

RESULTADOS ANALÍTICOS

1,2-Dicloroetano	USEPA 8260	µg/L	0,4811	1,6071	1000	<1,6021
1,1-Dicloroetileno	USEPA 8260	µg/L	0,3364	1,1203	3000	<1,1203
2,4-Dinitrotolueno	USEPA 8270	µg/L	0,0100	0,0200	130	<0,02
Hexaclorobenzeno	USEPA 8270	µg/L	0,0508	0,0026	100	<0,0026
Hexaclorobutadieno	USEPA 8260	µg/L	0,0100	0,0350	500	<0,035
Hexacloroetano	EPA 8270	µg/L	0,0200	0,0500	NA	<0,05
Metiltilcetona	USEPA 8270	µg/L	0,309	0,027	200000	<0,027
Nitrobenzeno	USEPA 8270	mg/L	0,0053	0,0175	2000	<0,0175
Piridina	USEPA 8270	µg/L	0,007	0,024	5000	<0,024
Tetracloreto de Carbono	USEPA 8260	µg/L	0,3264	1,0070	200	<1,007
Tetracloretileno	USEPA 8260	µg/L	0,2861	0,9528	NA	<0,9528
2,4,5-Triclorobifenil	USEPA 8041A	mg/L	0,2700	0,9100	400000	<0,91
2,4,6-Triclorofenol	USEPA 8041A	µg/L	0,0050	0,0106	20000	<0,0106

LAUDO DE ANÁLISE DE TESTE DE SOLUBILIZAÇÃO

pH final	8,9
Volume de água deionizada	2 litros
Tempo de solubilização	7 dias
Membrana filtrante utilizada	0,45 µm

Parâmetro	Método	UD	LD	LQ	VMP	Resultado
Aldrin e Dieldrin	USEPA 8270	µg/L	0,0160	0,0550	0,03	<0,055
Clordano (todos os isômeros)	USEPA 8270	µg/L	0,0095	0,0320	0,2	<0,0320
2,4-D	USEPA 8151	µg/L	0,0112	0,0374	30	<0,0374
DDT (todos os isômeros)	USEPA 8270	µg/L	0,0360	0,123	2	<0,123
Endrin	USEPA 8270	µg/L	0,007	0,023	0,6	<0,023
Fenóis	Standard Methods 5530	mg/L	0,146	0,487	NA	<0,487
Heptacloro e seu Epóxido	USEPA 8270	µg/L	0,0506	0,0021	0,03	<0,00014
Hexaclorobenzeno	USEPA 8270	µg/L	0,0008	0,0026	10	<0,0026
Lindano (γ-BHC)	USEPA 8270	µg/L	0,0090	0,0290	20	<0,029
Metoxicloro	USEPA 8151	µg/L	0,0040	0,0130	20	<0,013
Toxafeno	USEPA 8270	µg/L	0,0005	0,0019	5	<0,0019
2,4,5-T	USEPA 8151	µg/L	0,0010	0,0033	2	<0,0026

Código ASL: 014346/65319
 Identificação da Amostra: REJEITO GERADO DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE FERRO
 Matriz: RESÍDUO
 Data de Coleta: 25/01/2010

RESULTADOS ANALÍTICOS

2,4,5-TP	USEPA 8151	µg/L	0,0010	0,0033	30	<0,0011
----------	------------	------	--------	--------	----	---------

Comentário: De acordo com os resultados obtidos e pelos parâmetros de avaliação contidos na Norma NBR 10004, os resíduos da amostra em questão são classificados como **RESÍDUO CLASSE II A - NÃO PERIGOSO NÃO INERTE**

Legenda

UD: unidade; LD: limite de detecção; LQ: limite de quantificação; NA: não aplicável; ND: não detectável; VMP: valor máximo permitido; NMP: número mais provável; AG: intervenção agrícola; RES: intervenção residencial; IND: intervenção industrial; SM/WW/SMWW: "Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water", 21a. edição da American Public Health Association (APHA), da American Water Works Association (AWWA) e da Water Pollution Control Federation (WPCF).; USEPA: SW 846-3050/3051 (Usepa 1986, Teste Method for Evaluating Solid Waste Report Number SQ 846, Washington DC) ou similar.

* Repetido e confirmado

** Realizado em campo pelo coletor.