



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**KENEDY DONIZETE RIBEIRO DA MOTA**

**ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES DE ATERRO POR MEIO DE MEDIDAS FÍSICO-  
BIOLÓGICAS DE REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**

Prof. Dr. RICARDO VALCARCEL

Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
Dezembro de 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**KENEDY DONIZETE RIBEIRO DA MOTA**

**ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES DE ATERRO POR MEIO DE MEDIDAS FÍSICO-  
BIOLÓGICAS DE REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. RICARDO VALCARCEL

Orientador

SEROPÉDICA, RJ

Dezembro de 2016

ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES DE ATERRO POR MEIO DE MEDIDAS FÍSICO-  
BIOLÓGICAS DE REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

KENEDY DONIZETE RIBEIRO DA MOTA

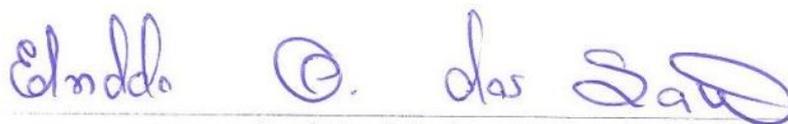
Monografia aprovada em 02 de Dezembro de 2016

Banca Examinadora:



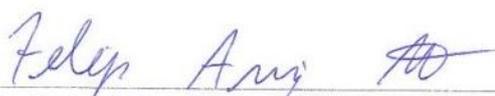
---

Prof. Dr. Ricardo Valcarcel  
UFRRJ / IF / DCA  
Orientador



---

Prof. Dr. Ednaldo Oliveira dos Santos  
UFRRJ / IF / DCA  
Membro



---

Engenheiro Florestal M.Sc Felipe Araujo Mateus  
UFRRJ / PPGCAF  
Membro

*Tentar e falhar é, pelo menos aprender.  
Não chegar a tentar, é sofrer a inestimável perda do que poderia ter sido.*

*Geraldo Eustáquio*

*A Deus, pai supremo e  
a todos que acreditaram e investiram no meu sucesso,  
dedico*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, que em Sua infinita misericórdia me proporcionou tantos ensinamentos, sendo minha força em todos os momentos.

Aos meus pais Maria do Carmo e Donizete, que desde o primeiro dia estiveram sempre presentes, com amor, dedicação e zelo incomensurável. Amo vocês!

À todos os meus familiares pela força e incentivo de sempre.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, seus funcionários e corpo docente, pela ajuda e ensinamentos transmitidos.

Ao CNPQ, pela bolsa de iniciação científica.

Ao Mestre, orientador prof. Dr. Ricardo Valcarcel pela oportunidade de crescimento, pessoal e acadêmico. Hoje percebo que alguns ensinamentos repassados não foram compreendidos à princípio, mas agora sei que foram fundamentais para minha maturidade.

À todos os amigos da graduação e membros do Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas.

À Ana Helena pela colaboração no projeto, materiais e na parte inicial dos estudos.

Ao Mateus Bueno e Felipe pela ajuda nas análises e no decorrer do trabalho.

À Marília Gabriela Tirelli pela ajuda desde o princípio, no campo, nas análises de laboratório e no dia a dia. Nos bons e maus momentos sua ajuda e força foram muito importante pra mim: Grazie mille!

Aos amigos Gildete, Patrícia, Thiago Kamossel, Irineu, Heron, Andreza Christina, Raquel, Alberto, Cleriston, Alessandre... e demais membros do Ministério Universidades Renovadas GOU Renascer, por toda força e amparo concedidos. Deus os abençoe.

Aos colegas de república Vinicius e Joana, que me acolheram de forma única e, com os amigos Luiz, Ayesha, Rafaela e Deize me proporcionaram um lar aprazível em terras seropedicenses.

Às nuvens do céu de Queimados, que proporcionaram alguns momentos de alívio em meio a dias escaldantes.

À todos que contribuíram para o meu desenvolvimento.

Muito Obrigado!

## RESUMO

Novos ecossistemas são diferenciados, pois não possuem capacidade de se reabilitarem sozinhos, desse modo a intervenção conservacionista feita pelo homem visa promover a sustentabilidade da área em conformidade e uso com as áreas adjacentes. Em 2012 foram implantadas medidas físico-biológicas (almofadas) em talude de aterro composto de material estéril, como forma de reabilitação de funções ecológicas do novo ecossistema. Este projeto teve por objetivo avaliar as modificações bióticas e no substrato edáfico proporcionadas por essas medidas conservacionistas, aplicadas em 4 tratamentos, diferindo entre si pela face de exposição de atributos ambientais (sul e oeste) e área de captação na rampa dos taludes. Comparando os valores entre os tratamentos com medidas e testemunhas, foi possível reconhecer a efetividade do método empregado e sua sustentabilidade, pois possibilitou entrada e estabelecimento de novas espécies em menos de 4 anos. A matéria orgânica derivada da vegetação regenerante teve parte fundamental na estabilização do substrato edáfico e para a sobrevivência dos indivíduos presentes. Para as áreas de captação diferenciadas, não se observou diferenças nos tratamentos com medidas de reabilitação, configurando as almofadas como importante agente de reforço físico ao substrato nos taludes. Os aspectos edáficos coadunam-se com os aspectos bióticos apresentando uma distribuição granulométrica e resistência a penetração, que levam a crer que esteja ocorrendo modificações nas propriedades do substrato em somente 4 anos da medida de reabilitação.

**Palavras-chave:** Mata Atlântica, Erosão, Reabilitação, Taludes de aterro.

## **ABSTRACT**

New ecosystems are differentiated, since they do not have the capacity to rehabilitate themselves, thus, the conservation intervention aims to promote the sustainability of the area in accordance with and use with adjacent areas. In 2012, physical-biological measures (cushions) were implemented in landfill slope composed of sterile material, as a way of rehabilitating the ecological functions of the new ecosystem. The objective of this project was to evaluate the biotic and edaphic substratum modifications provided by these conservation measures, applied in 4 treatments, differing from one another due to the exposure of environmental attributes (south and west) and catchment area in the ramp of the slopes. Comparing the values between treatments with measures and treatments control, it was possible to recognize the effectiveness of the method employed and its sustainability, since it allowed the entry and establishment of new species in less than 4 years. The organic matter derived from the regenerating vegetation had a fundamental part in the stabilization of the edafic substratum and for the survival of the individuals present. For the differentiated catchment areas, no differences were observed in the treatments with rehabilitation measures, configuring the cushions as an important agent of physical reinforcement to the substratum in the slopes. The authors verified a large association among edafics and biotics factors, with values of granulometric and resistance to penetration that would be an evidence of modifications in the properties of the substratum are occurring in only 4 years of the rehabilitation measure.

**Keywords:** Atlantic Forest, Erosion, Rehabilitation, Landfill slopes.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTA DE EQUAÇÕES</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Construção e degradação dos ecossistemas.....	3
2.2 Capacidade de resistência e resiliência dos ecossistemas .....	3
2.3 Ecossistemas perturbados & degradados.....	4
2.4 Degradação & Mineração .....	4
2.5 Solo ou substrato edáfico?.....	5
2.6 Construção de solos .....	6
2.7 Recuperação: Restauração & reabilitação .....	6
2.8 Medidas físico-biológicas.....	8
2.9 Monitoramento da sustentabilidade da reabilitação .....	8
2.9.1 Aspectos físicos do substrato.....	8
2.9.2 Aspectos bióticos.....	9
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>10</b>
3.1 Área de estudo .....	10
3.2 Antecedentes .....	10
3.3 Tratamentos .....	14
3.4 Alocação de parcelas.....	15
3.5 Avaliação dos parâmetros físicos.....	16
3.5.1 Densidade, porosidade total e textura .....	16
3.5.2 Resistência Mecânica a Penetração.....	17
3.6 Análise Estatística.....	20
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>21</b>
4.1 Parâmetros Físicos do substrato.....	21
4.1.1 Densidade, porosidade total e textura .....	21
4.1.2 Resistência a Penetração (RP) .....	23
4.2 Parâmetros Bióticos .....	26
4.2.1 Cobertura de copa .....	26
4.2.3 Riqueza e abundância .....	28
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>31</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>32</b>
<b>7. ANEXOS</b> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01:</b> Análise dos parâmetros físicos do substrato edáfico nos taludes de aterro em Queimados, RMRJ. ....	21
--	----

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01:</b> Conceituação Recuperação Modificado de Bitar & Braga (1995). ....	7
<b>Figura 02:</b> Localização do município de Queimados, RJ (Fonte: ABREU, 2006) .....	10
<b>Figura 03:</b> Aterro de subsolo no início de 2012, etapa da construção, em Queimados, RJ ....	11
<b>Figura 04:</b> Corte detalhando as medidas físicas, biológicas e físico-biológicas implantadas para a reabilitação de aterro de subsolo em Queimados, RJ. (PETRA 2012). ....	12
<b>Figura 05:</b> Planta detalhando as medidas físicas, biológicas e físico-biológicas implantadas. ....	12
<b>Figura 06:</b> Medidas físico-biológicas implantadas para a reabilitação de aterro de subsolo ..	13
<b>Figura 07:</b> Esquemas da instalação das almofadas em taludes de aterro. ....	14
<b>Figura 08:</b> Tratamentos estudados em Queimados, RJ (Fonte: Google Earth, imagem referente a 21/08/15). ....	15
<b>Figura 09:</b> Parcelas e diferentes áreas de captação nos taludes. ....	15
<b>Figura 10:</b> Amostras de solo dos diferentes tratamentos e teste do balão volumétrico para determinação da densidade real. ....	17
<b>Figura 11:</b> Ilustração do Penetrômetro de Impacto modelo Stolf (STOLF et al., 1983). ....	18
<b>Figura 12:</b> Operação com o penetrômetro de impacto Stolf. ....	19
<b>Figura 13:</b> Presença de avançados processos erosivos no talude do tratamento G1 (sem medida, face oeste). ....	22
<b>Figura 14:</b> Médias de RP nos diferentes tratamentos. ....	24
<b>Figura 15:</b> Médias de resistência a penetração do substrato dentro de cada tratamento nas diferentes alturas. ....	25
<b>Figura 16:</b> Talude do tratamento com medidas G3. Agosto de 2016. ....	26
<b>Figura 17:</b> Evolução no tempo das médias de cobertura de copa total entre as alturas dos tratamentos. ....	27
<b>Figura 18:</b> Evolução no tempo das médias de cobertura de copa total entre as alturas dos tratamentos: ....	28
<b>Figura 19:</b> Representação gráfica evolução abundância dos tratamentos .....	28
<b>Figura 20:</b> Representação gráfica evolução da riqueza dos tratamentos. ....	29
<b>Figura 21:</b> Vegetação de porte arbóreo (pioneiras) no talude do tratamento com medidas G3. ....	30

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 01:</b> Densidade aparente. ....	16
<b>Equação 02:</b> Densidade real. ....	16
<b>Equação 03:</b> Porosidade total .....	17
<b>Equação 04:</b> Número de impacto/dm .....	19
<b>Equação 05:</b> Conversão unidade técnica de resistência MPa.....	19
<b>Equação 06:</b> Diâmetro da copa.....	20
<b>Equação 07:</b> Cobertura de copa individual .....	20
<b>Equação 08:</b> Copa total dos tratamentos. ....	20

## 1. INTRODUÇÃO

A mineração ou exploração mineral é uma atividade essencial para a sociedade moderna, dada a importância que os recursos minerais e derivados assumiram em praticamente todas as atividades do homem, que abrange desde as atividades essenciais como habitação, saneamento básico, transporte e agricultura, até às consideradas sofisticadas, como tecnologia de ponta nas áreas de comunicação e informática (COUTINHO et al., 2005).

No Brasil o setor mineral é um dos pilares da economia. No ano de 2010 a atividade representou cerca de 20% das exportações brasileiras, com uma produção mineral em torno de 40 bilhões de dólares (IBRAM, 2010). Contudo, a utilização dos recursos minerais implica diretamente na manipulação de ambientes naturais.

A mineração, por sua vez, é uma das atividades que mais altera a superfície terrestre, afetando desde o local explorado até o seu entorno (SOUZA et al., 2001). Esta atividade por força das suas especificidades promove intensa degradação em pequenos sítios, impactando a água, o ar, a paisagem, o solo, o subsolo e a vegetação, os quais são sentidos por toda a população (PINHEIRO, 2004).

Dentre os impactos ao meio ambiente gerados pela exploração mineral, está a retirada de solo e subsolo, durante o decapeamento da área para a extração do minério. Estéreis são os materiais (solo, subsolo e rocha) que ocorrem naturalmente na área de exploração mineral, mas que não têm aproveitamento econômico (SILVA et al., 2006). Eles ocorrem associados ao minério e são separados do mesmo através dos processos de lavra e beneficiamento industrial (FERNANDES et al., 2004). É fundamental que os materiais estéreis recebam uma destinação adequada.

Os depósitos de material estéril resultantes da exploração mineral alteram as formas topográficas locais (PRALON & MARTINS, 2001), ocasionando mudanças de direções de fluxos de escoamento superficial e alterações nas calhas dos rios (SILVA, 2007). Além disso, os estéreis podem se deslocar pelas vertentes coletoras até atingir os canais fluviais, ocasionando o seu assoreamento e poluição da água (POVIDELO & NETO, 2006; SILVA, 2007).

A destinação correta desse material é complexa, como observado pelas recentes crises na região de Mariana em Minas Gerais, mesmo para empreendimentos com dimensão entre as duas maiores empresas do mundo do ramo. Quando estas atividades ocorrem em pequenas empresas, os problemas são agravados, pois elas não possuem equipamentos, tecnologias e nem recursos para aperfeiçoar os procedimentos. A solução invariavelmente repercute na formação de grandes depósitos de aterros que apresentam restrições para construção civil.

Os taludes formados nas bordas dos aterros são ecossistemas novos, construídos pelo homem, onde há pouca ou nenhuma agregação do solo, com isso suas partículas não apresentam coesão natural, organização estrutural e são desprovidos de atributos físicos e químicos que permitam a colonização e sustentação de espécies, capazes de garantir a sua sustentabilidade física a partir dos componentes bióticos, sendo, portanto altamente susceptíveis aos processos erosivos de diferentes formas e magnitudes.

A crescente conscientização ambiental da sociedade e órgãos governamentais aliada às ações dos ambientalistas, tem acelerado a busca de novas “equações ambientais”, que objetivam a minimização dos impactos a um baixo custo (D'ALTERIO & VALCARCEL 1996).

O grande desafio da academia reside em oferecer alternativas técnicas capazes de mitigar os impactos em sua consecução e, dentro do possível, transformá-los de passivos em ativos ambientais, que venham a garantir a sustentabilidade ambiental do empreendimento.

Nesse contexto, os projetos de reabilitação de áreas degradadas usam o reafeiçoamento do terreno como meio de adequação do ambiente para receber as técnicas de revegetação. Neste campo, os estudos ainda são incipientes, pois formas geológicas associadas à paisagem não são possíveis de serem refeitas (PETERSEN et al., 2004). Por isso em áreas de mineração a revegetação de taludes de estéril se torna difícil, visto que o substrato contém baixos níveis de matéria orgânica, que auxilia na estruturação e retenção de umidade do solo, atuando como fonte de nutrientes para os vegetais (RUIVO, 1998).

Um modelo adotado como alternativa viável para auxiliar nos processos de revegetação de taludes de estéril é através da implantação de medidas físico-biológicas, como “as almofadas”. As almofadas consistem em sacos de ráfia com substrato orgânico e banco de sementes. Essas medidas consistem no emprego de uma estratégia emergencial de reversão da problemática ambiental em curto prazo, agilizando a sucessão ecológica e, criando ofertas de atributos ambientais para que as espécies desempenhem seus serviços ecossistêmicos que se relacionam a estabilização e funcionamento ambiental do meio físico.

Exemplos desta estratégia de reabilitação de taludes usando as almofadas como medidas físico-biológicas, foram desenvolvidos e monitorados no tempo, conforme podem ser observados na literatura Francês & Valcarcel (1994), Valcarcel & D'Altério (1998); Valcarcel & Silva (2000). Eles se notabilizam pela escolha de material e suas diferentes performance dos resultados.

A matéria orgânica é um fator limitante do processo de reabilitação. O incremento de seus teores/unidade de área, geram propriedades emergentes na medida em que melhoram as propriedades do substrato, permitindo, na presença de fonte de propágulo, a colonização vegetal espontânea e, conseqüentemente, a estabilização estrutural da área, criando condições para no tempo o processo de sucessão ecológica possa ocorrer (VALCARCEL & D'ALTERIO, 1998). Esse fator garante sustentabilidade ao processo, permitindo a reabilitação da área a baixo custo, isenta de manutenção e sem adição de energia complementar, como fertilização, irrigação e mato competição.

Deste modo, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar a estabilização da superfície de taludes de aterro, submetidos a três tamanhos de áreas de captação de chuvas intensas, dispostos em duas faces de exposição e submetidos à medida físico-biológica de reabilitação de áreas degradadas.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Construção e degradação dos ecossistemas**

Os ecossistemas são sistemas que englobam as complexas, dinâmicas e contínuas interações entre seres vivos e não vivos em seus ambientes físicos e biológicos, nos quais o homem é parte integrante (MA, 2003).

Um ecossistema é formado pelos componentes bióticos ou biota (flora, fauna, microrganismos) e pelos componentes “abióticos” (clima, solo). Quanto maior for a oferta destes componentes, mais diversificados e eficientes funcionam estes ecossistemas (CAMARGO et al., 2002). Eles fornecem propriedades emergentes capazes de potencializar a oferta de fatores ambientais adicionais, que viabilizam a colonização e permanência de espécies com maior demanda de fatores ecológicos, muitas vezes não disponíveis na região (BROWN & LUGO, 1994). O inverso também deve ser considerado verdadeiro: quanto menor oferta de fatores ambientais, menor biodiversidade, menor capacidade de resistir à ação dos agentes modificadores do ambiente e mais frágeis são estes ecossistemas. O equilíbrio entre estas interações dos fatores bióticos e abióticos é dinâmico no tempo, podendo interferir no funcionamento do ambiente e na sua estabilidade funcional (ODUM, 1998).

A ocupação e o uso incorreto dos recursos naturais interferem na participação dos fatores bióticos e altera a oferta dos serviços ecossistêmicos, prejudicando os fatores abióticos em quantidade e em qualidade no ecossistema, pois eles trabalham em direção biunívoca e interdependente. Com isto, os resultados das mudanças drásticas nos mecanismos de equilíbrio natural ficam muito mais perceptíveis, dada a fragilidade dos seus ecossistemas (ODUM, 1998).

O equilíbrio homeostático dos ecossistemas ocorre de forma lenta e gradual, em níveis diferenciados, tanto em ecossistemas com tendência de recuperação e quanto aqueles com tendência de degradação. Cada ecossistema apresenta seu nível de equilíbrio próprio e quanto mais evoluído for o ecossistema, mais próximo ao seu equilíbrio climático ele estará (VALCARCEL & D’ALTÉRIO 1998).

Nos ecossistemas fortemente alterados, quando for possível promover ações conservacionistas, cabe a função de se reabilitarem espontaneamente, podendo demandar várias dezenas de anos para adquirir níveis de equilíbrio homeostático incipientes.

A degradação de um ecossistema ocorre quando a vegetação nativa e fauna forem destruídas, removidas ou expulsas, a camada fértil de solo for perdida, removida ou enterrada, e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados. Após este processo esta área passa a ser denominada área degradada, pelo fato de não ter meios espontâneos de auto-regeneração natural, ou seja, apresenta baixa capacidade de voltar ao seu estado natural (baixa resiliência) (IBAMA, 1990; KAGEYAMA et al., 1992).

### **2.2 Capacidade de resistência e resiliência dos ecossistemas**

Da reação dos ecossistemas a distúrbios derivam-se os conceitos de resiliência e resistência. Quando um ecossistema reage a uma alteração de forma a absorver o seu impacto, regulando a variação na sua estrutura e nos processos ecológicos, este ecossistema está manifestando resistência e é dito estável, sendo capaz de manter-se num estado de equilíbrio

dinâmico sem perder suas propriedades e processos (DURIGAN & RATTER, 2006; ENGEL & PARROTA, 2008).

Já quando o ecossistema empenha seus meios para reagir e voltar aos níveis de equilíbrio originais, ele está manifestando sua capacidade de resiliência. Pimm (1986) define resiliência como a capacidade do ecossistema recuperar suas condições anteriores ao distúrbio sem intervenção humana (medida em tempo).

A conjunção dos conceitos de estabilidade de resistência (capacidade de ser manter estável diante do estresse) e estabilidade de resiliência (capacidade de se recuperar rapidamente) definem o estado de equilíbrio ou homeostase de um ecossistema (ODUM, 1988).

Os ecossistemas passam a ter sua estabilidade comprometida a partir do momento em que ocorrem mudanças drásticas no seu regime de distúrbios característicos, e que as flutuações ambientais ultrapassam o seu limite homocedástico. Como consequência dessas mudanças, a sua resiliência e resistência diminuem, podendo ser impactado de modo significativo, porém reversível, os chamados ecossistemas perturbados. Quando a alteração atinge um ponto em que os ecossistemas entram em colapso, com processos irreversíveis de degradação, estes são denominados ecossistemas degradados (ENGEL & PARROTA, 2008, CORTINES & VALCARCEL, 2009;).

### **2.3 Ecossistemas perturbados e degradados**

A Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação define degradação de terras como a deterioração ou perda total da capacidade dos solos para uso presente e futuro (FAO, 1983). Sendo assim, para os que se ocupam da recuperação de terras e ecossistemas, diferentes intensidades de danos requerem diferentes conceitos e tratamentos (CORRÊIA, 2009).

Desmatar uma área ou deteriorar as propriedades de um solo, podem ser degradações ou perturbações, a depender da intensidade do dano e/ou fragilidade dos ecossistemas (CORTINES & VALCARCEL, 2009).

Segundo Carpanezzi et al. (1990), ecossistema degradado é aquele que, após distúrbios, teve eliminado, juntamente com a vegetação, os seus meios de regeneração bióticos como o banco de sementes, banco de plântulas, chuvas de sementes e rebrota. Apresenta, portanto, baixa resiliência, isto é, seu retorno ao estado anterior pode não ocorrer ou ser extremamente lento. Já o ecossistema perturbado é aquele que sofreu distúrbios, mas manteve meios de regeneração bióticos, pois resguardam considerável grau de resiliência (ROPPA et al., 2012). A ação humana não é obrigatória, mas auxilia na sua recuperação, pois a natureza pode se encarregar da tarefa. Nos degradados, a ação antrópica para a recuperação é necessária e essencial, pois eles já não dispõem daqueles eficientes mecanismos de regeneração.

### **2.4 Degradação & Mineração**

Áreas utilizadas para extração mineral são ecossistemas antropizados onde ocorre não somente a destruição de habitats naturais, como também sua transferência parcial/total para outras áreas.

Estas áreas desarranjadas funcionalmente, mudam seu patamar de equilíbrio homeostático e não conseguem readquirir suas funções originais, nem reverter tendência inercial de degradação ao longo do tempo (SILVA, 2003). Elas demandam intervenções

externas para se reabilitarem, de modo a se apresentarem com forma e funções similares ao contexto das paisagens regionais. Caso não promovam intervenções externas de reabilitação, os prejuízos ambientais perduram por um período superior ao de uma geração humana (CORTINES & VALCACEL 2009, SANTOS, 2010;).

A formação de aterros nas áreas de mineração requer planejamento prévio de curto e longo prazo. Ela precisa ser bem conformada, pois representa a mudança de todo o ecossistema e precisa ser ajustado para usos futuros, onde os equipamentos e expertises das empresas de mineração, provavelmente não mais permanecerão no local, após poucos anos de cese da reserva mineral.

Nos taludes desprovidos de vegetação, o material edáfico fica exposto e sujeito às intempéries, sobretudo porque as águas da chuva não encontram nenhum tipo de cobertura e acabam escoando ao longo do talude, transportando consigo partículas de solo, provocando o início de sulcos pouco profundos, que podem evoluir para ravinas e voçorocas (NEVES et al 2006).

Estes processos podem ser divididos em duas grandes componentes, as responsáveis pela ação da fragmentação e destorroamento (splash) e pela ação do arraste propriamente dito (escoamento superficial) dos materiais desagregados (MEYER & WISCHMEIER, 1969). De acordo com Guerra (1999), “a ação do splash”, também conhecido por erosão por salpicamento (Guerra, 1997), em português, é o estágio inicial do processo erosivo, pois prepara as partículas que compõem o solo, para serem transportadas pelo escoamento superficial”. Trabalhos experimentais têm demonstrado o significado da ação morfogenética do pingo da chuva, responsável pela desagregação do material, sobretudo quando a superfície da vertente encontra-se desprotegida. O escoamento superficial se inicia a partir do momento que a precipitação excede a capacidade de infiltração do meio edáfico, formando-se um fluxo difuso na superfície, que causa uma remoção progressiva e uniforme das camadas do substrato, conforme teoria do fluxo hortoniano (HORTON, 1945).

Um aspecto fundamental na recuperação de áreas degradadas pela mineração é o conhecimento do solo ou do substrato onde essa recuperação tem que ser conduzida. Os procedimentos específicos na recuperação dessas áreas dependem essencialmente das propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas do solo ou substrato, que deverá apresentar condições adequadas para o desenvolvimento das plantas (FONTES, 1991).

## **2.5 Solo ou substrato edáfico?**

Os ecossistemas terrestres dependem de uma forma geral de uma tênue e frágil camada de material que foi edafizado e consegue manter elementos vivos na biosfera (DIAS & GRIFFITH 1998; CORRÊIA, 2009).

Existem vários conceitos de solo, que variam de acordo com a ciência que o estuda. Nas áreas de engenharia civil, solo é o meio físico de sustentação de estruturas e construções. Para a Geologia é uma camada sem valor econômico que recobre o material a ser minerado, sendo, portanto um custo adicional. Para a Edafologia é o local onde os vegetais e outros organismos se desenvolvem, enquanto para Ecologia é a parte do ciclo hidrológico onde os ciclos biogeoquímicos mais sofrem influências antrópicas, afetando a matéria orgânica, nutrientes, abastecimento hídrico, entre outros. Finalmente para efeitos de revegetação de áreas mineradas, solo será o produto final de intervenção humana sobre um substrato que apresenta baixo potencial biológico (CORRÊIA, 2009).

A condição árida e inapropriada à vida das áreas mineradas pode ser considerado como mais restritivas que de ambientes agrícolas onde houveram perdas da estrutura física, química e biológica (CORRÊIA 2009; MARTINS, 2013).

Diante do anteriormente exposto, a caracterização de um substrato mineral remanescente é importante pelos seus elementos diferenciais, e para se saber se tende mais para ser um solo degradado ou um substrato novo. Segundo Dias & Griffith (1998) dentre as mais diversas definições descrita na literatura, o conceito de solo está vinculado a existência de horizontes definidos, construído no tempo a partir dos processos edafogenéticos sobre rocha autóctone atuando sobre a rocha matriz, presença de horizontes superficiais com carbono orgânico e, associada a biota. Assim, a estratificação natural, matéria orgânica e biota, compõem base para diferenciação entre substrato edáfico e solo.

Os diferentes processos e atividades antropogênicas que degradam os solos, combinados com a qualidade dos substratos, conformam os processos de degradação e, via de regra, conjugam e determinam o tipo reabilitação e suas estratégias para que se façam em escala de tempo e custos permitidos (DIAS & GRIFFITH, 1998).

Substratos minerados não cumprem funções hídricas no ciclo hidrológico, ou seja, apresentam baixa infiltração e movimentos no seu interior, para abastecimento de rios, lagos e aquíferos (CORRÊIA, 2009).

Independentemente da cobertura vegetal a ser implantada em determinada área, o conhecimento e a compreensão da composição e dinâmica dos processos internos do substrato são pressupostos básicos, tendo em vista que procedimentos específicos dos processos de recuperação podem depender das suas propriedades químicas, físicas e mineralógicas (FONTES, 1991).

Muito mais do que suporte físico para as plantas, o substrato é o meio onde ocorrem as reações e fenômenos determinantes do sucesso ou insucesso de todo o processo de recuperação/reabilitação, para o estabelecimento de um novo ecossistema (MOTTA NETO, 1995). Desse modo, o conhecimento da relação planta-substrato pode aumentar a eficiência e reduzir custos dos trabalhos em recuperação de áreas degradadas.

## **2.6 Construção de solos**

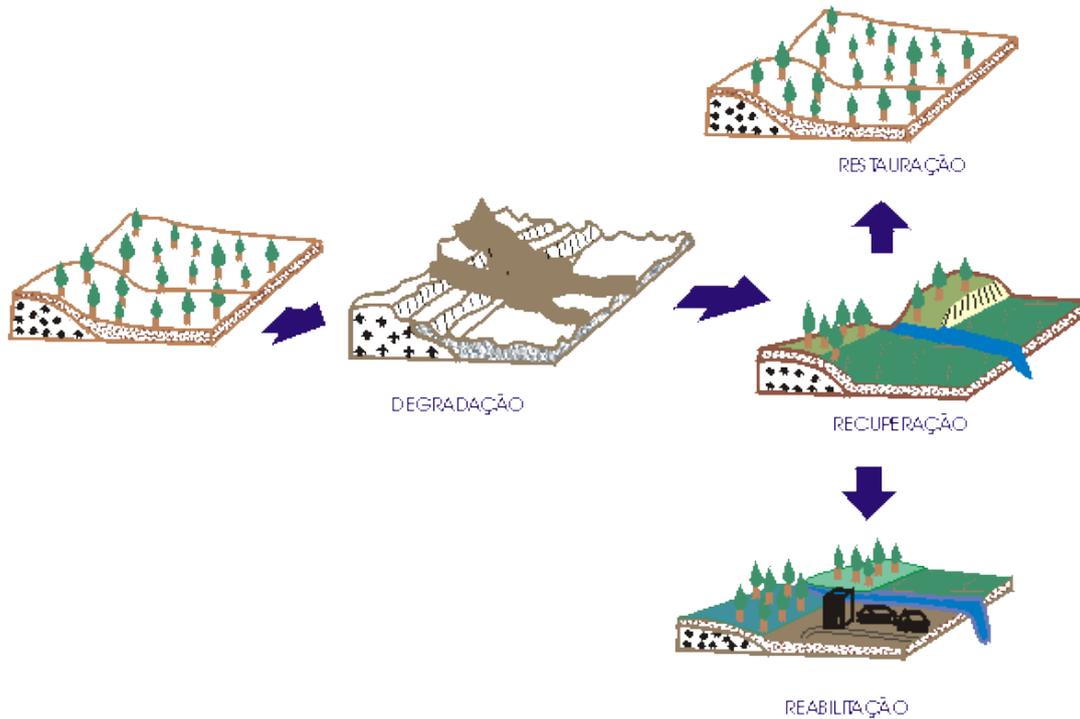
O tempo que leva um solo para recuperar as condições naturais após um processo de degradação ainda é desconhecido. Muitas vezes as transformações nos solos são tais, que alcançam limites de irreversibilidade no tempo, como por exemplo, gerações humanas (UFRRJ, 1991).

Em regiões temperadas, sob condições naturais favoráveis, os solos são desenvolvidos e conseguem crescer algo no entorno de 1 cm a cada 100-400 anos (BENNETT, 1939). No Brasil acredita-se que, dado as condições climáticas mais acentuadas, o tempo transcorrido seja menor devido às velocidades de adição/decomposição das florestas tropicais úmidas terem processos cinco vezes mais rápido que as de clima temperados (SANCHES, 1976). Contudo, devido a alta velocidade de decomposição, a massa de nutrientes presente no solo de florestas tropicais é menor do que no solo das florestas temperadas (JORDAN, 1985).

## **2.7 Recuperação: Restauração e reabilitação**

O termo recuperação é amplamente utilizado, por incorporar os sentidos de restauração e reabilitação (Figura 01).

Recuperar significa retornar a área que foi degradada às suas formas e aptidão de uso, de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, reabilitar significa fazer com que a área retorne a um estado biológico apropriado, condicional (onde o homem interfere para aumentar, ou agir contra fenômenos naturais) ou autossustentável (manejo de uma área até atingir um ponto em que a ação do homem não seja mais necessária) enquanto que restaurar é o retorno ao estado original, antes da degradação: situação quase impossível e impraticável de ser conseguida na prática (IBAMA, 1990).



**Figura 01:** Esquema demonstrativo da recuperação de áreas. Fonte: Bitar & Braga (1995) modificado de.

A recuperação, no sentido da palavra, significa promover modificações que conduzam a um estágio similar ao original. Como este processo é oneroso e inviável na maioria dos casos, criou-se o conceito de "reabilitação", que consiste em um conjunto de atividades dirigidas no sentido de reabilitar a área em forma e processos nos aspectos paisagísticos regionais e desempenho dos processos hidrológicos (SILVA, 1996).

Sendo assim, refazer um ecossistema de forma artificial (reabilitação) representa o desafio de iniciar um processo de sucessão o mais semelhante possível aos processos naturais, formando comunidades biodiversas que tendam a uma estabilização e sustentabilidade ambiental (BECHARA et al., 2007), permitindo meios para que o ecossistema tenha forma e produtividade ambientalmente em conformidade com sua capacidade de uso (SANTOS, 2010).

Consequentemente a reabilitação de uma área degradada deve envolver um conjunto de fatores ambientais de tal forma que propicie condições para que o processo de recuperação seja similar ao processo de sucessão secundária, tanto nos aspectos edáficos (construção de solo e ciclagem de nutrientes), fitossociológicos (introdução de espécies) e ambientais, que

são de difícil quantificação (filtragem de radiação solar, umidade, microclima e mesofauna (VALCARCEL & SILVA, 2000).

Além disso a reabilitação espontânea ou passiva de áreas degradadas enseja a ideia na qual a própria vegetação irá se estabelecer por seus próprios meios no local. Obviamente estes processos dependem da capacidade de resiliência dos ambientes, conforme observado por Teixeira et al. (2014) e Baylão et al. (2013).

## **2.8 Medidas físico-biológicas**

O uso da cobertura vegetal como medida mitigadora dos impactos ambientais é uma opção coerente, prática e econômica, embora apresente dificuldades de aplicação inerentes à declividade do terreno e a composição física e química do substrato (D'ALTERIO & VALCARCEL, 1996). De acordo com Francês & Valcarcel (1994), para minimizar esses impactos, tem sido observado que uma das melhores maneiras para se recuperar encostas íngremes é através da agilização do processo de sucessão ecológica através da implantação de medidas físico-biológica (almofadas).

As medidas físico-biológicas consistem no emprego de barreiras físicas temporárias associadas à implantação de espécies pioneiras com o propósito de aumentar a rugosidade do leito das drenagens, diminuir a energia hidrodinâmica da água e aumentar a infiltração e retenção da umidade, propiciando condições para que as sementes germinem e, posteriormente, venham a cobrir a área desejada (FRANCÊS & VALCARCEL, 1994). Por consequência o emprego dessas medidas atenuam problemas ambientais existentes em áreas com processos erosivos acelerados ou altamente susceptíveis, onde somente medidas biológicas não surtiriam efeitos satisfatórios a curto prazo, além do que são praticamente inviáveis, devido a dificuldade de acesso à área, stress hídrico, elevadas oscilações térmicas diárias e a falta de matéria orgânica no solo (FRANCÊS & VALCARCEL, 1994; D'ALTERIO & VALCARCEL, 1996; SILVA 1996).

Valcarcel & D'Altério (1998) relataram que a implantação de medidas físico-biológica (almofadas com adubo orgânico e coquetel de sementes de seis espécies pioneiras) e biológica (plantio de *Mimosa caesalpiniaefolia*), em 1994, em talude de 70 graus de declividade e com horizonte "C" exposto (subsolo), trouxe benefícios ambientais, permitindo o estabelecimento e desenvolvimento de 13 espécies vegetais de forma espontânea. Segundo estes autores, o desenvolvimento das espécies introduzidas nas almofadas provocou modificações das condições ambientais, especialmente no que diz respeito à cobertura do solo e sombreamento, criando, assim, propriedades emergentes que geraram condições básicas para o estabelecimento e desenvolvimento de outras espécies vegetais de forma espontânea. Com relação aos aspectos edáficos, estes apresentaram distribuição granulométrica, densidade aparente e percentagem de carbono orgânico indicando a ocorrência de modificações também nas propriedades do substrato (VALCARCEL & D'ALTERIO, 1998).

## **2.9 Monitoramento da sustentabilidade da reabilitação**

### **2.9.1 Aspectos físicos do substrato**

As propriedades físicas tanto do solo degradado, como do substrato edáficos, assumem grandes importância em um processo de reabilitação de áreas degradadas. Por mais que este seja quimicamente fértil, não proporcionará condições de desenvolvimento satisfatório as plantas se as suas condições físicas não forem adequadas a estas (VALCARCEL & D'ALTERIO, 1998).

Em função da sua textura, o solo pode responder de maneira diferenciada a vários fenômenos, principalmente de origem hídrica. O encrostamento superficial decorrente do impacto das gotas de chuva na superfície do solo tende a ser menos em solos de textura argilosa, sendo estes também menos propícios à ocorrência de processos erosivos, devido ao maior grau de coesão entre suas partículas (BRADY, 1989).

A densidade do solo, que também é influenciada pela textura, pode ser modificada pelo manejo que o solo é submetido. Como consequência de um aumento de densidade têm-se restrições ao arejamento, desenvolvimento radicular e infiltração de água, predispondo o solo a ocorrência e impedindo um bom desenvolvimento da cobertura vegetal (VALCARCEL & D'ALTERIO, 1998).

O incremento dos teores de matéria orgânica, seja por via de adição de resíduos ou pelo crescimento de biomassa no próprio local, talvez seja o passo mais importante a ser seguido no incremento das propriedades físicas principalmente se tratando de um solo degradado como taludes de corte ou áreas de empréstimo, como em áreas de aterro que têm substrato edáfico como material constituinte. Essa matéria orgânica, juntamente com a ação do sistema radicular das plantas, da biota do solo e dos óxidos de ferro e alumínio, são responsáveis pela formação de agregados no solo, melhorando a estrutura, aeração, densidade, condutividade hidráulica e retenção de água (BAVER, 1972; ELTZ et al., 1989).

### **2.9.2 Aspectos bióticos**

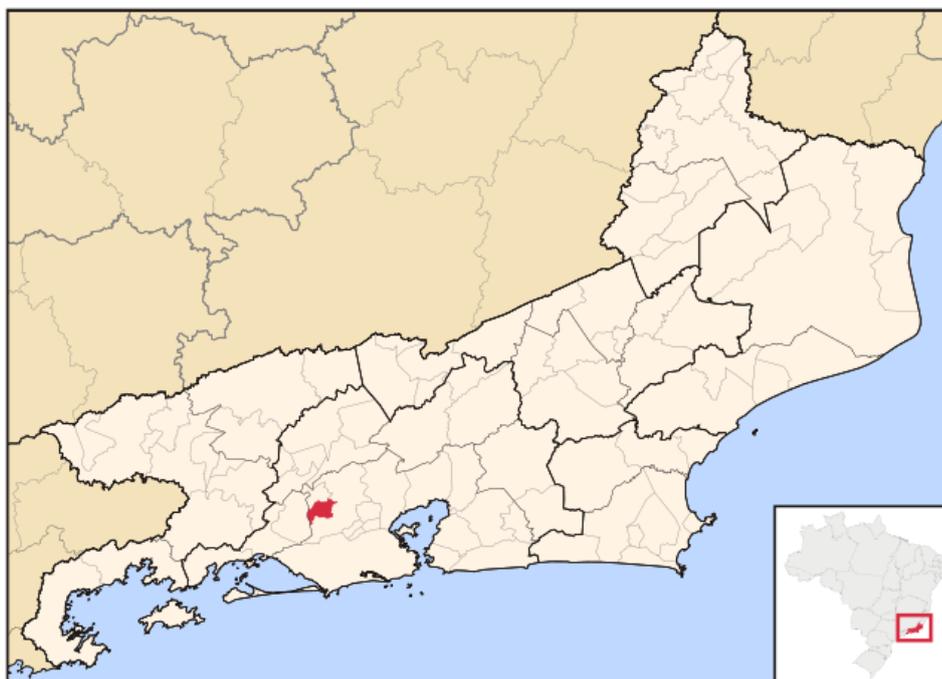
Um ecossistema mesmo degradado, apresenta-se em fase de evolução e desenvolvimento no tempo. O estabelecimento da vegetação espontânea é um bioindicador do grau de desenvolvimento do substrato, sendo que o desenvolvimento deste último se deve ao incremento nos teores de matéria orgânica gerado pela produção de massa seca ou serapilheira por parte da vegetação. Logo, a vegetação e solo coevoluem para o desenvolvimento e estabelecimento de um novo ecossistema (VALCARCEL & D'ALTERIO, 1998).

Partindo-se dessa premissa, quanto maior o teor de matéria orgânica presente no solo ou substrato a ser recuperado/reabilitado, maior será o estágio de desenvolvimento do mesmo, permitindo a existência de novos componentes (flora e fauna), bem como sua integração com os componentes mais antigos (solo e fonte de propágulos). Este integra como consequência, o estabelecimento de um efeito sinérgico representado pelas propriedades emergentes que são determinantes, em última estância, na presença de fonte de propágulos, do atual estágio sucessional e, conseqüentemente, grau de desenvolvimento do ecossistema (FRANCÊS & VALCARCEL, 1994).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se ao norte da Serra do Madureira-Mendanha, e integra a bacia hidrográfica do Rio Guandu, região metropolitana do Rio de Janeiro, município de Queimados (RJ) (Figura 02). Situada no bioma Mata Atlântica é caracterizado por ambiente de floresta estacional semidecidual. Os principais solos são Argissolos e Latossolos Vermelho-Amarelos (LEPSCH, 2002), relevo composto por planícies flúvio-marinha, alternando com colinas isoladas (CPRM, 2001) e circunscritas nos contrafortes da serra do Mar.



**Figura 02:** Localização do município de Queimados, RJ. Fonte: ABREU (2006).

O clima tropical Aw (tropical chuvoso com inverno seco) segundo KOPPEN marcado por clima seco e pluviosidade mal distribuída ao longo do ano, com episódios pontuais de chuvas torrenciais isoladas.

A temperatura média anual é 23,9 °C atingindo no verão 27 °C e no inverno variando entre 23° - 24° C. A precipitação média anual é 1.274,3 mm, com período seco entre os meses de junho a setembro e excedentes hídricos em dezembro, janeiro e fevereiro. O tempo médio de insolação anual é de 2.527 horas, a média anual da evaporação é de 1.576 ml e a umidade relativa média do ar é de 69,3% (INMET, 2016).

#### 3.2 Antecedentes

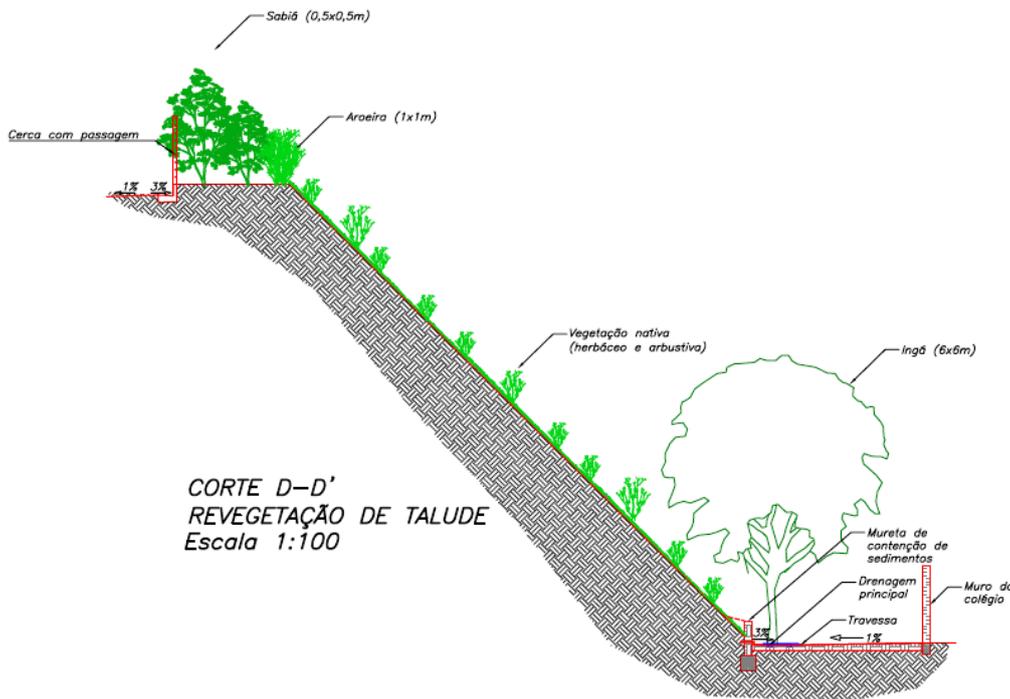
Em 2011 para a instalação do empreendimento de mineração em Queimados se promoveu o aterro de área de várzea totalizando uma área plana como um platô de 4,5 ha de superfície, com altura média de 20 m. O material estéril utilizado no aterro foi retirado de diferentes procedências e amontoado sem ordenamento sequencial em função da profundidade, contendo inclusive blocos de rocha extraídos da cava que estava sendo desenvolvida pelo processo de mineração.

Essas áreas foram compactadas verticalmente, utilizando-se camadas sucessivas de 0,30 m de aterro, espalhado com moto niveladora, umectada e compactada por meio de rolos compactadores. Os taludes não tiveram compactação lateral, sendo formados a partir de lançamento lateral. Estes taludes possuem 0,80 ha de área com 100% de declividade.

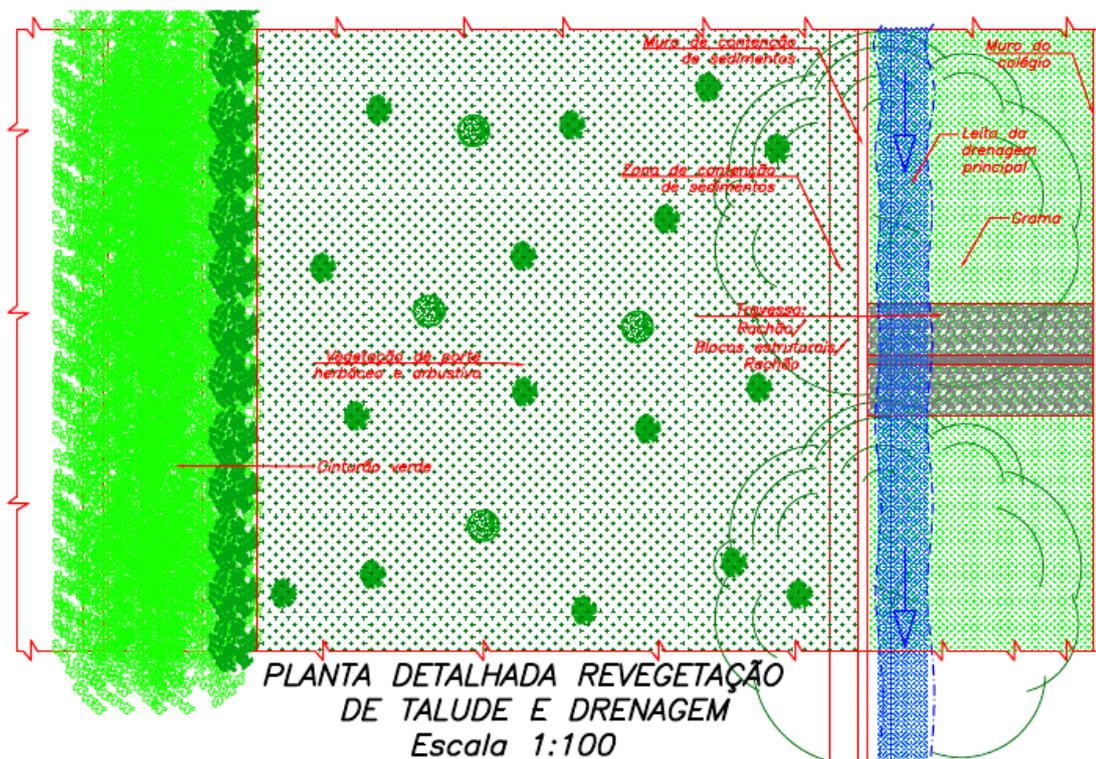
A fim de recuperar a função e a forma do aterro, no ano de 2012, foram implantadas medidas físicas, biológicas e físico-biológicas (Figura 03; 04, 05 e 06) de acordo com o Plano de Controle Ambiental da mineradora.



**Figura 03:** Aterro de subsolo no início de 2012, etapa da construção, em Queimados, RJ.



**Figura 04:** Corte detalhando as medidas físicas, biológicas e físico-biológicas implantadas para a reabilitação de aterro de subsolo em Queimados, RJ. Fonte: Petra (2012).



**Figura 05:** Planta detalhando as medidas físicas, biológicas e físico-biológicas implantadas. Fonte: Petra (2012).



**Figura 06:** Medidas físico-biológicas implantadas para a reabilitação de aterro em Queimados, RJ.

As medidas físicas consistiram em obras de drenagem no topo e na base do aterro.

Já as medidas biológicas consistiram no plantio de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth. – Fabaceae/Mimosoideae) com espaçamento de 0,5 m x 0,5 m e aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia* Raddi - Anacardiaceae) com espaçamento de 1 m x 1 m no topo do aterro, formando um cinturão verde, e de ingá (*Inga laurina* Willd. – Fabaceae/Mimosoideae) com espaçamento de 6 m x 6 m na base do aterro.

A medida físico-biológica consistiu na implantação de almofadas (Figura 07) no aterro produzidas com sacos de ráfia de 60 kg repletos com banco de sementes coletado em fragmentos florestais da região e solo orgânico proveniente de raspagem para exploração de brita. O saco de ráfia seco é leve e, quando molhado, armazena umidade por 60 dias. As almofadas foram dispostas equidistantes 2 x 2 m entre si. Foram plantados sobre as almofadas coquetel de 6 sementes das espécies feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) e feijão guandu (*Cajanus cajan*) para formar microclima indutor da germinação das espécies presentes no banco de sementes, dentro de um processo de reabilitação. As espécies foram selecionadas por apresentarem características de rusticidade, pequena demanda de nutrientes, rápido crescimento, sistema radicular fasciculado, resistência a oscilações térmicas acentuadas em 24 horas e estresse hídrico. Além disso, ambas depositam grandes quantidades de matéria orgânica e fixam nitrogênio no solo (UFRRJ, 1991).



**Figura 07:** Esquemas da instalação das almofadas em taludes de aterro em Queimados, RJ.

A medida físico-biológica foi implantada no aterro em áreas com exposição oeste e sul, que apresentam incidência de radiação solar (insolação matutina e insolação vespertina) e interceptação das chuvas distintas.

### 3.3 Tratamentos

Foram alocados quatro tratamentos de acordo com as características ambientais distintas, sendo deixadas duas testemunhas onde não foram implantadas as medidas físico-biológicas. (Figura 08). A saber:

- Tratamento 1 (G1): talude sem almofadas e face Oeste (W);
- Tratamento 2 (G2): talude sem almofadas e face Sul (S);
- Tratamento 3 (G3): talude com almofadas face Sul (S); e
- Tratamento 4 (G4): talude com almofadas face Oeste W

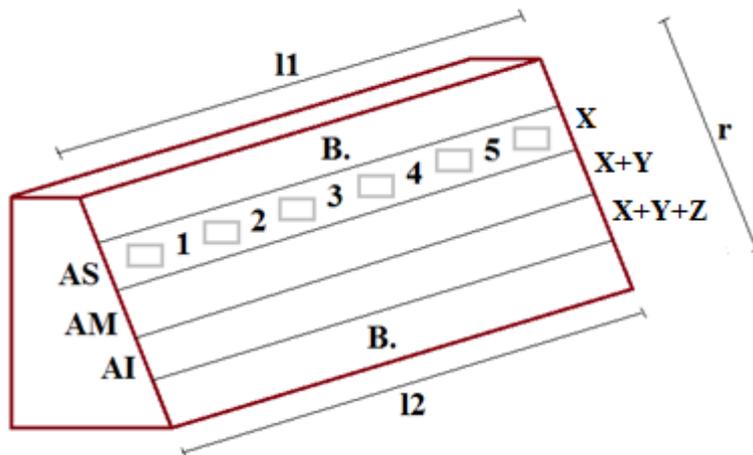


**Figura 08:** Tratamentos estudados em Queimados, RJ. Fonte: Google Earth, imagem referente a 08/07/12

### 3.4 Alocação de parcelas

As medidas foram implantadas em área amostral de aproximadamente 300m<sup>2</sup> em taludes idênticos no tocante aos seus processos construtivos (comprimentos de rampa, declividade e material). A área de rampa foi dividida e classificada em três faixas altitudinais: e áreas de captação de chuvas distintas : AS - superior X m<sup>2</sup>; AM - média X+Y m<sup>2</sup> e AI - Inferior X+Y+Z m<sup>2</sup> (Figura 09). No total foram realizadas 15 parcelas por tratamento, compondo o universo amostral de 60 parcelas.

As bordas laterais e o espaçamento entre parcelas foram baseados no espaçamento da medida físico-biológica. Desse modo, estas bordas e o espaçamento entre parcelas foram de, no mínimo, aproximadamente dois metros.



**Figura 09:** Parcelas 1 a 5 nos taludes de aterro, em que: r: comprimento de rampa; 11 e 12: comprimentos do topo e base; B.: bordas; AS: altura superior; AM: média; AI: inferior. e X,Y e Z diferentes áreas de captação.

As parcelas, que são permanentes, possuem área total de 3,00 m<sup>2</sup> (2,00 x 1,50 m) e área útil de 2,46 m<sup>2</sup> (1,86 x 1,32 m). Nos grupos 3 e 4, por sua vez, as almofadas ocupam em

torno de 0,27 m<sup>2</sup> (0,62 x 0,44 m) no centro das unidades de amostra. Ressaltasse-se que todas as parcelas apresentam características geo-ambientais similares, configurando homogeneidade na amostragem.

### 3.5 Avaliação dos parâmetros físicos

A fim de avaliar e testar as hipóteses relacionadas as efetividades de aquisição de resistência pela presença de vegetação foram determinados os seguintes parâmetros físicos do substrato: análise textural, densidade aparente e real, porosidade total, e resistência mecânica a penetração.

Os pontos de análise e coleta foram dispostos no intervalo entre as parcelas, ou seja, na área de influência de cada parcela, equidistantes 4 metros entre si. Nos taludes onde não houve intervenção (testemunho), os pontos de análise e coleta foram amostrados segundo o mesmo desenho amostral.

#### 3.5.1 Densidade, porosidade total e textura

A determinação da densidade do solo foi realizada conforme a metodologia EMBRAPA (1997). Coletou-se cinco amostras em cada altura, totalizando 15 amostras por cada tratamento.

Para o cálculo da densidade aparente coletou-se amostras de solo com estrutura indeformada utilizando o anel de Kopeck. Primeiramente foi determinado o volume do anel (b), pesadas as amostras coletadas e em seguida colocadas em estufa a 105°C, de 24 a 48 horas, obtendo-se o peso seco (a). Para determinar o valor da densidade aparente foi utilizada a seguinte fórmula (Equação 1).

$$\text{Densidade Aparente} = a \div b \quad (01)$$

Em que:

a - peso da amostra seca a 105°C (g);

b - volume do anel de Kopeck (cm<sup>3</sup>).

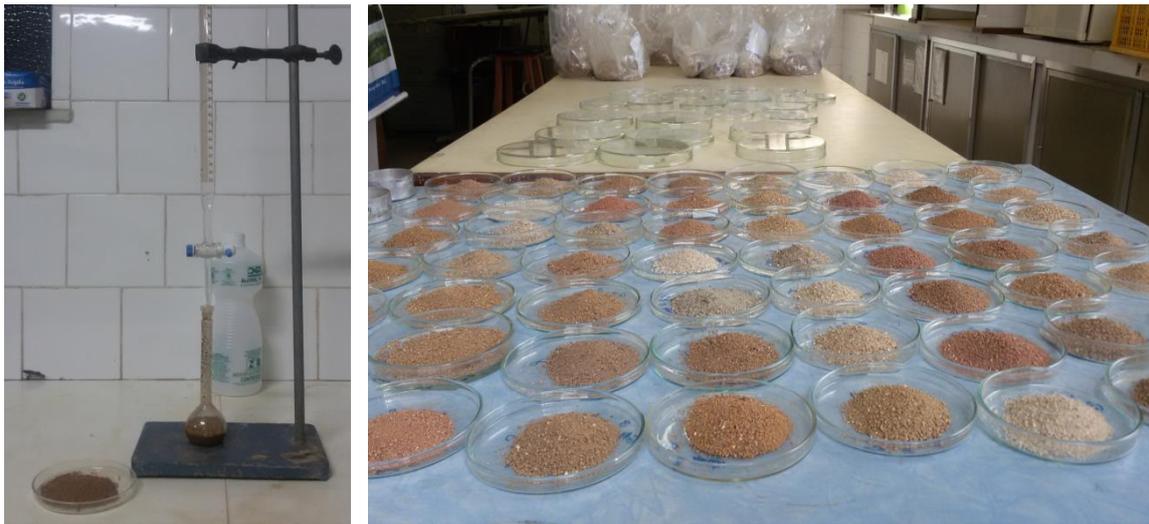
Para o cálculo da densidade real, coletou-se pequena amostra de solo com aproximadamente 300g, na profundidade de 0-10 cm, com auxílio de um trado de caneca. Depois a amostra foi levada a estufa 105° ficando de 6 a 12 horas. Posteriormente, para cada amostra foi pesado 20g de solo e transferido para um balão volumétrico de 50 ml, completando com álcool etílico e obtendo-se o volume de álcool gasto (Va). (Figura 10) A determinação do valor da densidade de partículas foi feita pela seguinte fórmula (Equação 02).

$$\text{Densidade real} = Pa \div 50 - Va \quad (02)$$

Em que:

Pa - Peso da amostra seca

Va - Volume do álcool gasto



**Figura 10:** Amostras de solo dos diferentes tratamentos e teste do balão volumétrico para determinação da densidade real.

A partir dos dados de densidade Do substrato, foi obtido a porosidade total, a partir da seguinte fórmula (Equação 3).

$$\text{Porosidade Total} = 100 \left( \frac{a-b}{a} \right) \quad (03)$$

Em que:

a = densidade real

b= densidade aparente

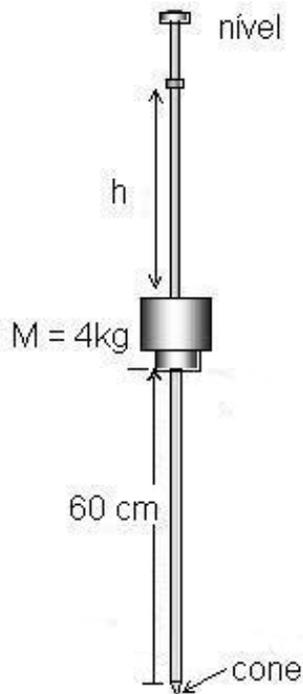
A análise textural foi realizada no Departamento de Solos da UFRRJ, e seguiu o Método de Pipeta descrito pelo Manual de Análises de Solos Embrapa (1979). Utilizou-se o tamisador automático (Agitador Bertel) com 3-5 vibrações por minuto, durante 10 minutos, e peneiras com diâmetros de: 4,00mm/μm (ABNT/ASTM – nº 5), 3,35mm/μm (ABNT/ASTM – nº 6), 2,80mm/μm (ABNT/ASTM – nº 7), 2,00mm/μm (ABNT/ASTM – nº 10) e 1,00mm/μm (ABNT/ASTM – nº 18).

### 3.5.2 Resistência Mecânica à Penetração

A resistência do solo à penetração (RP) foi determinada através do penetrômetro de impacto Modelo IAA/Planalsucar (STOLF 1983). O penetrômetro é um equipamento constituído por um peso, uma haste e um cone para a penetração no solo. A penetração da haste é obtida pelo impacto de uma massa (kg) em queda livre de determinada altura h (cm).

O aparelho possui as seguintes características. (Figura 11):

- Peso que provoca o impacto = 4 kg;
- Curso de queda livre = 10 cm;
- Cone = ângulo sólido 30°;
- Diâmetro da haste que penetra no solo= 9,5 mm;
- Comprimento da haste = 60 cm.



**Figura 11:** Ilustração do Penetrômetro de Impacto do modelo Stolf (STOLF et al., 1983).

Para o início da leitura foi efetuada uma limpeza do local onde realizou-se os ensaios. Para tanto foram removidos fragmentos de rochas, galhos e outros obstáculos que porventura poderiam influenciar a eficácia dos ensaios. O penetrômetro de impacto foi introduzido perpendicularmente à superfície do solo (Figura 12). A haste do aparelho penetra no solo através do impacto do peso (4 kg) que cai de uma altura constante de 10 cm. Em seguida, continuou-se com a cravação da haste contabilizando o número de impactos até atingir a profundidade determinada. Nesse estudo, adotou-se a profundidade de até 20cm de acordo com as facilidades operacionais no campo, como também a profundidade efetiva do sistema radicular da vegetação regenerante.



**Figura 12:** Operação com o penetrômetro de impacto Stolf.

A leitura da profundidade em centímetros no equipamento foi feita de acordo com cada impacto produzido. Os dados da planilha de campo foram transferidos para planilha dinâmica do Excel para tratamento dos dados, segundo metodologia adotada por Stolf (2011). Os dados foram agrupados em classe de 2 em 2 centímetros e calculados o número de impacto/décimetro através da equação abaixo (Equação 04).

$$\text{Impacto (dm)} = \frac{NI}{P} \times 1 . \quad (04)$$

Em que:

NI – número de impactos

P – penetração em cm

A partir dos dados em impacto/dm converteu-se a unidade técnica de resistência MPa para  $g = 10 \text{ m/s}^2$ : usando a fórmula (Equação 05)

$$R (\text{MPa}) = 0,56 + 0,689 \times N (\text{impactos/dm}) \quad (05)$$

As análises de resistência à penetração foram realizadas em dias consecutivos em todas as parcelas, sendo observadas as mesmas condições climáticas nos dias dos testes.

### 3.5.2 Avaliação dos parâmetros bióticos

A coleta de dados foi realizada em três períodos distintos, objetivando avaliar o período crítico de maior instabilidade da área de aterro, primeiros dozes (na estação seca e chuvosa) e, num período posterior atual visando conferir a estabilidade e efetividade da reabilitação. Desse modo as coletas foram divididas da seguinte forma:

1ª coleta estação seca em 2013;

2ª coleta: estação chuvosa de 2014 e

3ª coleta transição entre chuvosa e seca no ano de 2016.

Na área da parcela, todas as plantas com altura maior ou igual a 10 cm foram amostradas e posteriormente identificadas no Herbário RBR do Instituto de Biologia UFRRJ de acordo com as normas vigentes. Para estes indivíduos se levantou o diâmetro da copa, utilizando-se de uma vara de 4 m graduada a cada 0,5 m. Estes diâmetros consistem na maior e na menor projeção da copa do vegetal no solo, mensuradas perpendicularmente entre si e que foram utilizadas no cálculo do diâmetro médio da copa (Equação 06).

$$DC_{\text{médio}} = \frac{DC_{\text{maior}} + DC_{\text{menor}}}{2} \quad (06)$$

Em que:  
 DC<sub>médio</sub>: diâmetro da copa médio (m);  
 DC<sub>maior</sub>: diâmetro da copa maior (m);  
 DC<sub>menor</sub>: diâmetro da copa menor (m).

A partir do DC<sub>médio</sub>, obteve-se a cobertura de copa individual (Equação 07).

$$CCi = \pi \times \left( \frac{DC_{\text{médio}}}{2} \right)^2 \quad (07)$$

Em que:  
 CCI: cobertura de copa individual (m<sup>2</sup>);  
 DC<sub>médio</sub>: diâmetro da copa médio (m).

E, por fim, a CCI foi empregada para calcular a cobertura de copa total dos tratamentos (GREIG-SMITH, 1964) (Equação 8).

$$CCt = 100 \times \sum \frac{CCi}{AU} \quad (08)$$

Em que:  
 CCt: cobertura de copa total dos tratamentos (%);  
 CCI: cobertura de copa individual (m<sup>2</sup>);  
 AU: área útil da parcela = 2,46 m<sup>2</sup>.

### 3.6 Análise Estatística

A análise dos dados quantitativos de textura do solo, densidade real e aparente e porosidade total foi feita com base na interpretação Anova do teste “T” a 5% de probabilidade de erro processados no programa SPSS 15.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em um processo de restauração passiva em ambiente perturbado, cujo cese do fator de degradação estivesse já algum tempo ocorrido, a interação entre fatores bióticos e abióticos permite se estabelecer inferência sobre o desempenho da técnica de restauração passiva. (BAYLÃO et al 2013; ROPPA et al 2012; MIRANDA et al 2015)

Em processos de reabilitação de área recém construída, a mínima resiliência não permite que estes processos se desenvolvam. Ecossistemas artificiais precisam necessariamente de intervenções humanas para iniciarem seu processo de estabilização a partir da própria força dos seus ecossistemas, mas primeiro se precisa construir estes ecossistemas.

Os taludes estudados conformam esta situação, pois são artificiais com declividade e comprimento de rampa padrão. Como os processos construtivos foram idênticos e o platô foi sendo construído gradualmente, se trabalha com a premissa de que os substratos foram obtidos em fontes similares, ou seja, a estratificação das camadas nos taludes recolhem os mesmos tipos de materiais.

Com a utilização de medidas físico-biológicas, espera-se que a evolução dos processos de colonização da vegetação no tempo determinam o avanço da reabilitação de áreas degradadas em comparação com as áreas testemunhas (sem medidas) como também os efeitos das técnicas em função da oferta diferenciada de atributos ambientais.

### 4.1 Parâmetros Físicos do substrato

#### 4.1.1 Densidade, porosidade total e textura

Transcorridos 4 anos de experimentação, constatou-se que de forma incipiente, os tratamento G3 e G4 (com medidas) foram mais eficientes na indução do processo de edafização, em comparação com as testemunhas.

**Tabela 01:** Análise dos parâmetros físicos do substrato edáfico nos taludes de aterro em Queimados, RJ

T-Trat P-Pont	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Grossa	P.T	DAP	DR
	-----	-----	---%---	-----	-----	-----g cm-3-----	
G1-AS	26,3	3,7	14,9	55,1	45,09	1,42	2,58
G1-AM	30,8	0,9	14,1	54,2	46,86	1,39	2,62
G1-AI	22,6	4,1	16,4	56,9	51,30	1,26	2,58
<b>Média</b>	<b>26,6<sup>a</sup></b>	<b>2,9<sup>a</sup></b>	<b>15,1<sup>a</sup></b>	<b>55,4<sup>a</sup></b>	<b>47,75<sup>a</sup></b>	<b>1,35<sup>a</sup></b>	<b>2,59<sup>a</sup></b>
G2-AS	22,2	1,0	19,5	57,3	51,85	1,22	2,53
G2-AM	16,7	16,8	25,4	51,2	59,21	1,09	2,67
G2-AI	33,0	35,4	11,5	51,9	50,68	1,28	2,59
<b>Média</b>	<b>24,0<sup>a</sup></b>	<b>3,7<sup>a</sup></b>	<b>18,8<sup>a</sup></b>	<b>53,45<sup>a</sup></b>	<b>52,98<sup>ab</sup></b>	<b>1,19<sup>b</sup></b>	<b>2,59<sup>a</sup></b>
G3-AS	48,9	14,0	7,0	30,1	61,59	0,97	2,53
G3-AM	52,7	9,7	9,7	27,9	55,04	1,16	2,58
G3-AI	49,7	2,5	11,9	35,9	55,82	1,10	2,49
<b>Média</b>	<b>50,4<sup>b</sup></b>	<b>8,7<sup>ab</sup></b>	<b>9,5<sup>a</sup></b>	<b>31,3<sup>b</sup></b>	<b>57,48<sup>b</sup></b>	<b>1,08<sup>b</sup></b>	<b>2,53<sup>a</sup></b>
G4-AS	37,2	5,0	15,4	37,3	57,29	1,11	2,60
G4-AM	44,3	1,2	12,7	37,1	49,05	1,30	2,56
G4-AI	45,5	5,8	12,7	36,0	53,34	1,18	2,53
<b>Média</b>	<b>42,3<sup>b</sup></b>	<b>7,2<sup>ab</sup></b>	<b>14,0<sup>a</sup></b>	<b>36,8<sup>b</sup></b>	<b>53,24<sup>ab</sup></b>	<b>1,12<sup>b</sup></b>	<b>2,56<sup>a</sup></b>

Nota: Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T. (DAP) = densidade aparente; (DR) = densidade real e (P.T) - porosidade total.

Para os tratamentos testemunhas G1 e G2, os baixos teores de argila e silte evidenciam que as partículas mais finas foram carregadas para as partes mais baixas, restando somente as frações mais grosseiras no terreno, independentemente da face de exposição.

No talude do tratamento G1, grandes volumes de substrato foram deslocados, apresentando processos erosivos avançados, como voçorocas e ravinas. (Figura 13)



**Figura 13:** Presença de avançados processos erosivos no talude do tratamento G1 (sem medida, face oeste).

Todavia os tratamentos G3 e G4 foram mais eficientes na contenção dos processos erosivos, apresentando maiores percentagens de argila e silte, inclusive silte que é altamente carregável, demonstrando uma menor perda de substrato por “run-off”. Assim presença de maior teor de argila proporcionou modificações na estrutura do solo, típicas de ambientes mais desenvolvidos.

Os maiores teores de argila encontrados nos tratamentos demonstram a importância conservacionista das medidas de reabilitação de áreas degradadas em tão somente 4 anos, descontando-se o tempo de estabelecimento das sementes e, sua consequente formação de plantas. Estudando taludes de corte com horizonte C exposto, em experimentação análoga D’Altério & Valcarcel (1996), encontraram resultados semelhantes.

A textura mais argilosa aliada ao teor mais elevado de matéria orgânica no substrato proporcionaram a formação de uma estrutura mais desenvolvida e um acréscimo na porosidade total. Segundo Brady (1989) as propriedades físicas dos solos são reguladas principalmente pela argila e pelo húmus, pois estes agem como centros de atividade, em cujo redor ocorrem reações químicas e trocas de substâncias nutritivas. Além disso, mediante atração de íons para suas superfícies, protegem temporariamente as substâncias nutritivas essenciais contra lixiviação, liberando-as então lentamente para a utilização pelos vegetais.

Já presença de matéria orgânica agindo na estabilização desses taludes pode ser explicada pelo fato do processo de humidificação ser mais rápido em vegetação de gramínea que em solos florestais, por exemplo. No caso de uma gramínea a planta inteira, incluindo as

raízes, é pouco duradoura. A cada ano acrescenta grandes quantidades de matéria orgânica, a qual se decompõe rapidamente, deixando pouco serrapilheira, mas muito húmus (ODUM 1988). Na floresta a serrapilheira e as raízes decompõem-se lentamente e como a mineralização é rápida, a camada de húmus permanece estreita (DAUBENMIRE 1974).

Para os ensaios de densidades, os valores de densidade real, ou densidade da partícula, não diferiu estatisticamente entre os tratamentos. A densidade real relaciona a massa de uma amostra de solo e o seu volume indeformado, solos com altos teores de matéria orgânica apresentam valores de densidade real baixos (BRADY 1989). Os valores observados variaram entre 2,53 a 2,59 g/cm<sup>2</sup> valores considerados médios (EMBRAPA 1997). A análise através do método anel de kopeck objetivou avaliar os 5 cm de profundidade, equivalentes a espessura do anel na superfície do terreno, onde os efeitos edafogênicos não foram detectados devido ao incipiente desenvolvimento pedogenético do substrato, não havendo tempo hábil para a formação diferencial de estrutura do solo, talvez pela ineficiência ou ausência no controle da ciclagem de nutrientes. (VALCARCEL & D'AUTÉRIO, 1998).

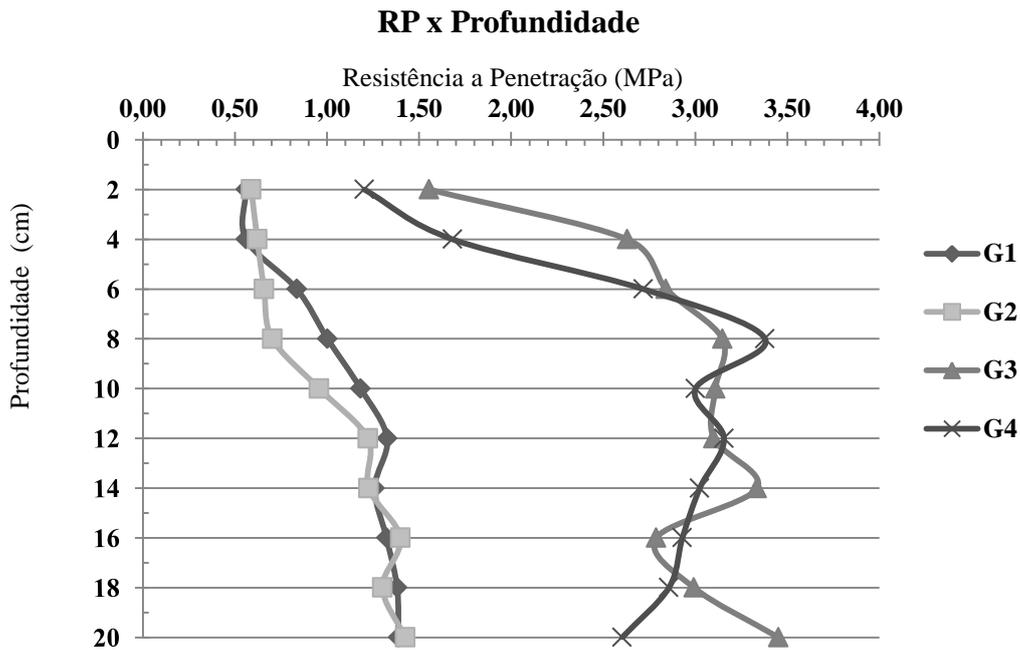
Para valores de densidade aparente, somente G1 diferiu estatisticamente dos demais. Segundo classificação da Embrapa (1997) nesse tratamento, o substrato é classificado como arenoso (faixa entre 1,25 e 1,40 g/cm<sup>3</sup>).

A porosidade total como indicador de desenvolvimento pedogenético rápido, mostrou que nos taludes com intervenção conservacionista houve atividades das raízes e manutenção da umidade diferenciada, apesar deste não se mostrar estatisticamente diferente. As plantas aumentam a porosidade pelos efeitos de suas raízes e propiciam manutenção da umidade exercendo papel essencial na reabilitação de ecossistemas degradados (COELHO & PEREIRA 2006).

Para os dados totais de parâmetros físicos do solo não houve diferença entre as faces de exposição, ou seja, o fator áreas com atributos ambientais distintos (exposição solar e de precipitação), não interviu nos parâmetros físicos do substratos com o tempo, destacando tão e somente o papel exercido pela vegetação. Isso se explica também pelo fato de não serem observadas nenhuma diferença entre as alturas (AS, AM e AI) dentro de cada tratamento confirmando que o efeito da áreas de captação, não influenciou o substrato consideravelmente a ponto de alterarem seus parâmetros físicos no espaço de 4 anos.

#### **4.1.2 Resistência à Penetração (RP)**

Após 4 anos constatou-se diferenças entre os tratamentos com medidas físico-biológica e as testemunhas para a resistência a penetração do substrato. A partir da leitura do gráfico abaixo é possível definir claramente dois grupos distintos: os tratamentos com medidas G3 e G4 e testemunhas G1 e G2. (Figura 14).



**Figura 14:** Médias de RP nos diferentes tratamentos.

Para as testemunhas (G1 e G2) não foram observadas diferenças entre faces de exposição (sul ou oeste), dessa forma a exposição diferenciada de atributos ambientais e climáticos não interviram na resistência do substrato.

O comportamento do substrato sem a presença das medidas apresentou pouco ou nenhuma resistência quando da leitura com o penetrômetro conforme a Figura 15 (Valores de 0,5 são equivalente a 0 pelo ajuste da fórmula). Em muitos casos, a haste do penetrômetro afundava completamente com o próprio peso do equipamento, semelhante ao substrato “oco” em alguns pontos de análise.

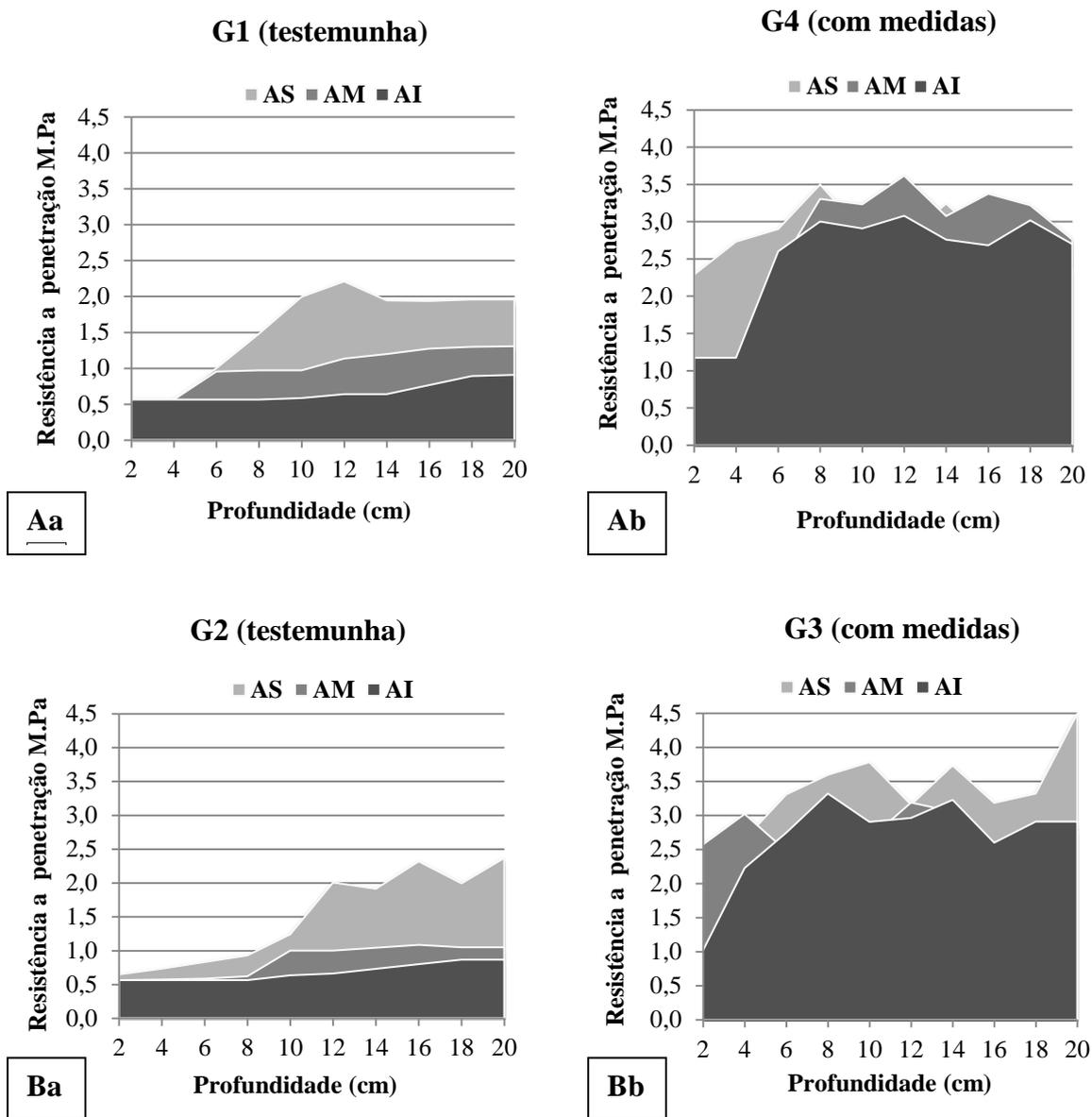
Em campo foi observado o selamento do solo, provocado pelo efeito *splash*, de modo que se conformava superficialmente, porém se tornava completamente instável a qualquer esforço ou evento de chuva mais intensa.

Como a matéria orgânica presente no solo, tem poder agregador e de arranjo dos agregados (COELHO & PEREIRA 2006), a não adoção das medidas físico-biológicas proporcionou uma menor força estrutural desse substrato, e por consequência o aumento da susceptibilidade aos processos erosivos, seja pela presença reduzida ou ausência das raízes na ancoragem do substrato, ou pela ausência do papel físicos exercido pela ação das almofadas, ou pelas obras físicas de drenagem.

Para os tratamentos com medidas G3 e G4, a presença da vegetação induzida ou regenerante provocou mudanças consideráveis no substrato edáfico. A resistência à penetração nos primeiros 10 centímetros do substrato foi maior onde houve a implantação das medidas e a vegetação promoveu importante papel na estabilização do terreno desde a superfície. Esse fator se justifica pelo “entramamento” das raízes da vegetação surgida pela oferta adicional de meios para que espécies mais exigentes conseguissem chegar, colonizar e se estabelecer nestes locais, reforçando estruturalmente a superfície do substrato. Segundo Coelho & Pereira (2006) o aumento da resistência ao cisalhamento do solo está vinculado diretamente à transferência direta das tensões de cisalhamento para resistência das raízes à

tensão. Essa transferência ocasiona incrementos consideráveis na resistência, com conseqüente redução da erodibilidade, e no aumento da estabilidade do solo.

Para as diferentes alturas à partir da rampa dos taludes, foram observados diferenças, decorrente das áreas de captação distintas.



Nota: Três alturas e áreas de captação de chuvas distintas (AS-superior  $Xm^2$ ; AM-média  $X+Y m^2$ ; AI - Inferior  $X+Y+Z m^2$ . Letras maiúsculas iguais correspondem: A= face de exposição oeste e B= face sul. Letras minúsculas iguais representam tratamento sem e com medidas, respectivamente

**Figura 15:** Médias de resistência a penetração do substrato dentro de cada tratamento nas diferentes alturas.

As testemunhas (Figura 15Aa e Ba) com exposição (sul e oeste) não representaram influência para RP, embora as alturas tenham sido distintas entre si. As porções mais altas do talude (AS) que recebem menor área de captação, foram mais resistentes à penetração, caracterizando que provavelmente o lavado de sedimentos finos deva ter sido menor com o

tempo, do que as áreas mais baixas (AI). As chuvas incidindo sobre o substrato desnudo acarretam fortes processos erosivos, pois o terreno está solto e sem coesão, ou seja, apto a ser transportado. O substrato desestabilizado é transportado para áreas baixas, entulhando com material arenoso estas áreas, o que foi perceptível a partir das leituras do penetrômetro com menor resistência.

Já para as áreas com medidas físico-biológicas (Figura 15 Ab e Bb) a área de captação não teve influência na diferença de resistência do substrato nas alturas. A presença da almofada, funcionou também com medida física eficaz, por controlar os fluxos laminares impedindo grande parte do escoamento superficial. Segundo Martins (2013) a rápida cobertura do solo, proporcionado pelas almofadas evita a erosão laminar e em sulcos, minimizando as perdas de solos nos taludes. Isso proporcionou em termos de RP, uma homogeneidade da área de rampa do talude, e uma maior estabilização da área total no terrenos frente aos processos erosivos.

## 4.2 Parâmetros Bióticos

A vegetação regenerante nos tratamentos teve a capacidade de colonizar esses ambientes, proporcionando além da estabilização a cobertura das áreas de rampa dos taludes.

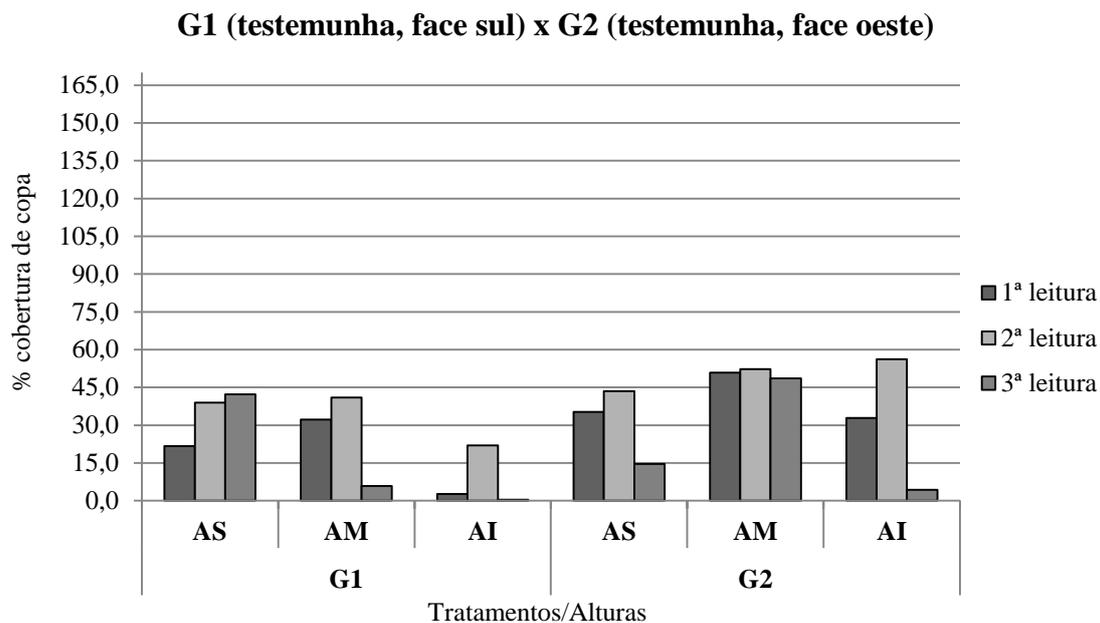
Nas áreas de mineração, o impacto visual na paisagem é grande. Assim a revegetação dessas áreas veio também, nesse sentido, proporcionar uma melhor harmonia em termos de contraste de paisagem com as áreas adjacentes (MARTINS 2013).(Figura 16).



**Figura 16:** Talude do tratamento com medidas G3. Obtida em agosto de 2016.

### 4.2.1 Cobertura de copa

Entre os tratamentos testemunhas (Figura 17), ambos apresentaram valores mais baixos de cobertura total de copa, ou seja, o fator exposição pouco interferiu nesse resultados. No geral, as áreas inferiores do taludes apresentaram menos cobertura de copa total em comparativo com as áreas mais altas. Os processos erosivos e carreamento de sedimentos não possibilitaram a cobertura dessas áreas por parte da vegetação.



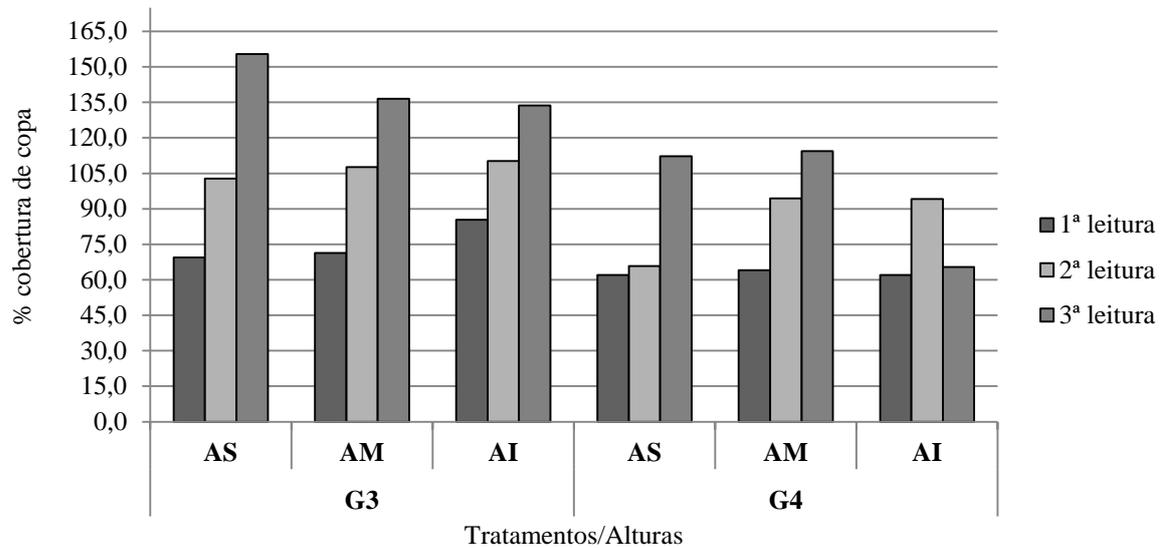
Nota: AS Altura Superior; AM Altura Média; AI Altura Inferior; 1ª leitura: estação seca 2013, 2ª leitura: estação chuvosa 2014 e 3ª leitura transição entre chuvosa e seca no ano de 2016.

**Figura 17:** Evolução no tempo das médias de cobertura de copa total entre as alturas dos tratamentos.

Entre os tratamentos com medidas (Figura 18) a cobertura de copa teve um progresso contínuo com o decorrer dos anos. A presença das almofadas propiciou um aumento da cobertura do solo, mesmo na estação mais seca e episódios de intenso calor e precipitação. O recobrimento de taludes com capim ou vegetação herbácea densa proporcionou uma melhor proteção contra a erosão laminar e contra a ação do vento (COUTO et al 2010). Coppin & Richards (1990) afirmam que o máximo efeito de recobrimento vegetativo é obtido a partir de um recobrimento efetivo de 70% da área. Nos tratamentos estudados os valores foram superiores a 100%, ou seja, com sobreposição de copas da vegetação, fator eficaz no recobrimento e proteção das áreas dos taludes. Em termos de cobertura o tratamento G3 apresentou os melhores resultados conforme pode ser observado na Figura 16.

Valcarcel & D'Altério (1998) avaliando a eficácia de medidas de recuperação obtiveram resultados semelhantes, com maior cobertura total de copa nos tratamentos com almofadas com maior adensamento e nos plantios com sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth).

### G3 (com medidas, face sul) x G4 (com medidas, face oeste)



Nota: AS Altura Superior; AM Altura Média; AI Altura Inferior; 1ª leitura: estação seca 2013, 2ª leitura: estação chuvosa 2014 e 3ª leitura transição entre chuvosa e seca no ano de 2016.

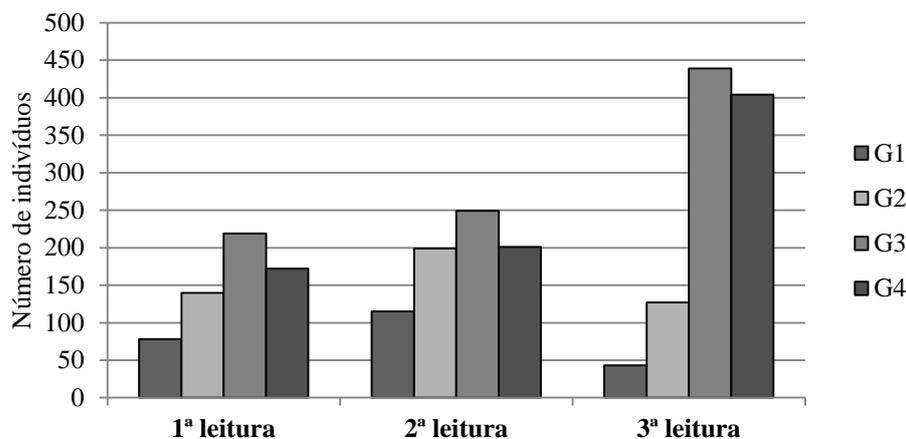
**Figura 18:** Evolução no tempo das médias de cobertura de copa total entre as alturas dos tratamentos:

#### 4.2.3 Riqueza e abundância

Comparando os valores de colonização espontânea observada após 4 anos de intervenção os tratamentos com medidas físico-biológicas apresentaram maior número de espécies e indivíduos que as testemunhas (Figura 18 e 19) com tendência de progressão no decorrer dos anos, o que é desejável em processos sustentáveis de reabilitação.

No critério abundância de indivíduos, os tratamentos sem medidas tiveram decréscimo na última leitura (Figura 19).

#### Abundância de indivíduos

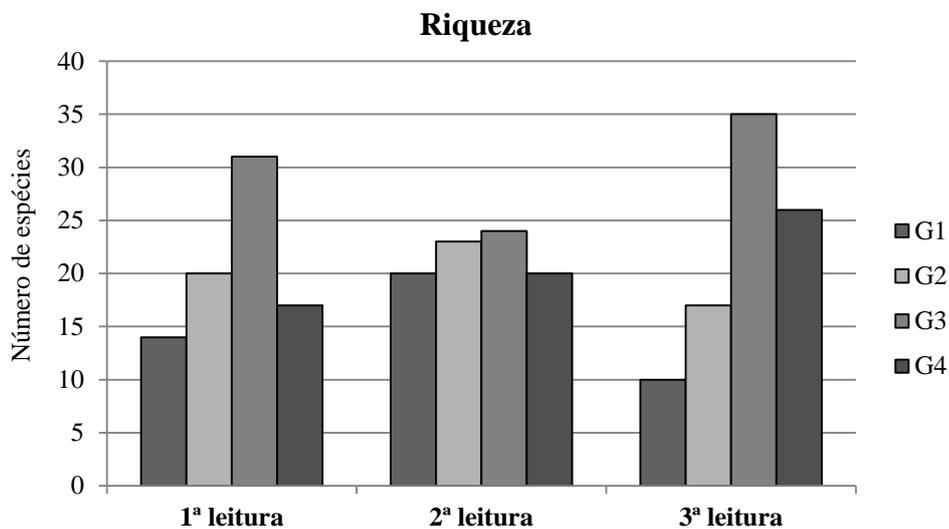


Nota: 1ª leitura: estação seca 2013, 2ª leitura: estação chuvosa 2014 e 3ª leitura transição entre chuvosa e seca no ano de 2016.

**Figura 19:** Representação gráfica evolução abundância dos tratamentos

A falta de estabilização e estrutura do substrato não permitiu que o número de indivíduos permanecesse constante ou em progressão. Nessas áreas também a riqueza de espécies diminuiu consideravelmente em função dos anos se destacando principalmente espécies da família Gramínea. Essa família representada principalmente pela espécie *Panicum maximum*, espécie fortemente invasiva, se alastrou formando touceiras isoladas pelo terreno. A presença de gramíneas nessa conformação e o índice de cobertura alcançado por estas, indica que a cobertura do solo ainda não está eficiente em termos de estabilização podendo haver perdas de solos (VALCARCEL & D'ALTÉRIO 1998).

Dentre os tratamentos com medidas físicos-biológicas independente da face de exposição apresentou um aumento constante para critério de número de indivíduos e espécies (Figura 20).



Nota: 1ª leitura: estação seca 2013, 2ª leitura: estação chuvosa 2014 e 3ª leitura transição entre chuvosa e seca no ano de 2016

**Figura 20:** Representação gráfica evolução da riqueza dos tratamentos.

Desta maneira, as almofadas implantadas tiveram um papel importante, tanto para manutenção da umidade e matéria orgânica quanto para a estabilização de indivíduos na área. Apesar da espécie invasora *Panicum maximum* ser importante em termos de números de indivíduos, pela observação de campo já se observa espécies arbustivas, e espécies do gênero *Eremanthus spp* e *Cecropia spp*, como também leguminosas, pioneiras características de sucessão primária presente (Figura 21).



**Figura 21:** Vegetação de porte arbóreo (pioneiras) no talude do tratamento com medidas G3.

## 5. CONCLUSÕES

Taludes de aterro tendem a se acomodar com o tempo, pois a ação das chuvas fortes promove a erosão e de chuvas de baixa intensidade o selamento e, posterior proteção da sua superfície. A medida físico-biológica propiciou celeridade em talude de aterro modificando parâmetros físicos e bióticos estudados, mesmo em tão exíguo tempo de 4 anos de pedogênese estimulados pelas técnica de reabilitação de áreas degradadas. As modificações mais notáveis foram na composição granulométrica e resistência superficial do substrato, contribuindo na estabilização do talude, primeiro passo para sua reabilitação autossustentável, ou seja sem nenhum gasto energético extra, como adubação, irrigação, combate a mato competição.

A face de exposição não foi fator de oferta adicional de entrada e consolidação de propágulos, assim como o tamanho da área de captação não permitiram evidenciar diferenças significativas entre si.

Estes resultados constituem sinalizações inequívocas de perspectivas de que haverá oferta de atributos ambientais diferenciadas entre áreas com e sem tratamento conservacionista, fator essencial na celeridade da reabilitação de áreas degradadas por meio de composição da vegetação adequada

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, R. L. **Map locator of Rio de Janeiro's Queimados city**. 2006. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RiodeJaneiro\\_Municip\\_Queimados.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RiodeJaneiro_Municip_Queimados.svg)>. Acesso em: 20 set. 2016.
- BAVER, L.D. **Soil physics**. New York, John Wiley, 1972.
- BAYLÃO, H. F.; VALCARCEL, R; NETTESCHEIN, F. C. Fatores do meio físico associados ao estabelecimento de espécies rústicas em ecossistemas perturbados na Mata Atlântica - Piraf, RJ – Brasil. **Ciência Florestal**, v. 23, n.3, p.305-315, 2013.
- BECHARA, F. C.; CAMPOS FILHO, E. M.; BARRETTO, K. D. ; GABRIEL, V. A.; ANTUNES, A. Z. ; REIS, A. Unidades Demonstrativas de Restauração Ecológica através de Técnicas Nucleadoras de Biodiversidade. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, supl. 1, p.9-11, 2007.
- BENNETT, H.H. **Soil conservation**. New York : McGraw-Hill, 1939.
- BITAR, O.Y. & BRAGA, T.O. O meio físico na recuperação de áreas degradadas. In: BITAR, O.Y. (Coord.). **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. cap. 4.2, p.165-179.
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.
- BROWN, S.; LUGO, A.E. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustain development. **Restoration Ecology**, v.2, p.97-14, 1994.
- CAMARGO J.L.C.; FERRAZ, I.D.K.; IMAKAWA, A.M. Degraded areas of Central Amazons using direct sowing of forest tree seeds. **Restoration Ecology**, v.10, n.4, p.636-644, 2002.
- CARPANEZZI, A. A.; COSTA, L. G.S.; KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A. Funções Múltiplas das Florestas: Conservação e Recuperação do Meio Ambiente.in: VI CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, Campos do Jordão, SP. **Anais...** p.216-217. 1990.
- COELHO, A. T.; PEREIRA, A. R. **Boletim Técnico**, Belo Horizonte – MG, n.2, 2006.
- COPPIN, N. J.; RICHARDS, I. G. **Use of vegetation in civil engineering**.Sevenoaks, Kent: Butterworths. 1990. 305 p.
- CORRÊA, R.S. **Recuperação de Áreas degradadas pela mineração no Cerrado: manual de revegetação**. 2ª ed., Brasília: Universa, 2009.
- CORTINES, E.; VALCARCEL, R. Influence of pioneer-species combinations on restoration of disturbed ecosystems in the Atlantic Forest, Rio de Janeiro, Brazil. **Revista Arvore**, v. 33, n.5, p.925-934, 2009.
- COUTINHO, M. P.; CARNEIRO, J. G. A.; BARROSO, D. G.; RODRIGUES, L. A.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; MENDONÇA, A. V. R.; NOVAES, A. B. Crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. plantadas em uma área degradada por extração de argila. **Floresta**, v. 35, n. 2, p. 231-239, 2005.

COUTO L. Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil. **Boletim Técnico**: CBCN, nº 001, ISSN: 2177-305X. Viçosa – MG, 2010.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geomorfológico do estado do Rio de Janeiro**. Brasília, 2001.

D'ALTERIO, C. F. V.; VALCARCEL, R. Medidas físico-biológicas de recuperação de áreas degradadas: “Avaliação das modificações edáficas e fitossociológicas”. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. **Resumos...** Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, p.52,1996.

DAUBENMIRE, R. **Plants and Enviroments**. 3ªed., New York, John Wiley & Sons

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e Caracterização de Áreas Degradadas. In: Dias, L.E. & Mello, J. W. V. (eds.). **Recuperação de Áreas Degradadas**. Univ. Federal de Viçosa, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 251p. (il.), 1998.

DURIGAN, G.; RATTER, J.A. Successional changes in cerradão and cerrado/forest ecotonal vegetation in western São Paulo State, Brazil, 1962-2000. **Journal of Botany**, n.63, p.119-130, 2006.

ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, F. Efeito de sistemas de preparo de solos nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. **Revista Brasileira. Ciência do Solo**, Campinas, 13: 259-267, 1989.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997.

ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. Definindo restauração ecológica; tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P.Y. et al. (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, p. 1-26, 2008

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Organic materials and soil productivity**. Rome Soils Bull, 35 FLAIG, W; NAGAR, B; SOCHTIG, H, TIETJEN, C., 1977.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). In : KELLEY, H. W. (Org.) . **Soil erosion its causes and cures**. Soil Bulletin n. 50. Roma, 1983

FERNANDES, G.; RIBEIRO, L. F. M.; GOMES, R. C.; PALMEIRA, E. M.; PEREIRA, R. A. Estudo de resíduos de minério de ferro para utilização em pavimentos. In: ICTR 2004 – CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2004.

FONTES, M. P. F. Estudo pedológico reduz impacto da mineração. **Revista Cetesb de Tecnologia Ambiental**, São Paulo. v. 5, n.1, p. 58-61, 1991.

FRANCÊS, H. J. S.; VALCARCEL, R. Medidas físico-biológicas de recuperação de áreas degradadas: “almofadas”. In: IV JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, Resumos..., UFRRJ, p.15 1994.

GREIG-SMITH, P. **Quantitative plant ecology**. 2.ed. London, 256p, 1964.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: **Erosão e conservação dos solos – conceitos, temas e aplicações**. Orgs. A. J. T. GUERRA, A. S. SILVIA e R. G. M. BOTELHO. Ed. Bertrand Brasil. p. 17-55. 1999.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B.(Eds.). **Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos**, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3ªed, 149-209, 1997.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrological approach to quantitative morphology. **Bulletin of the geological society of America**, v.56, p.257-330. 1945.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual de recuperação de área degradada pela mineração: técnica de revegetação**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, Brasília, DF, 1990.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Relatório Anual • Julho 2010 Junho 2010**. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1400/1457/10000383.pdf>> Acesso em: 01 de setembro de 2016.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA –. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normais-climatologicas>>. Acesso em: 03 de setembro de 2016.

JORDAN, C. F. **Nutrient cycling in tropical forest ecosystems: Principles and their application in management and conservation**. Chichester, John Wiley, p.179, 1985.

KAGEYAMA, P. Y., REIS, A. & CARPANEZZI, A.A. Potencialidades e restrições da regeneração artificial na recuperação de áreas degradadas. In: **Simpósio Nacional Recuperação de áreas degradadas**. Universidade Federal da Paraná, Curitiba, PR, 1992. p.17

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. p.178.

MA - MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT **Ecosystem and Human Well-Being: a framework for assessment**. Island Press, Washington, DC., 2003.

MARTINS, S.V. **Recuperação de áreas degradadas: como recuperar áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e áreas de mineração**. 3ed. Viçosa, MG: Aprenda fácil, 2013

MEYER, L. D.; WICHMEIER, W. H. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. **American Society of Agricultural Engineers**, v.12, p.745-58, 1969.

MIRANDA, C. C.; VALCARCEL, R.; FIGUEIREDO, P. H.; MATEUS, F. A.; ROPPA, C.; NUNES-FREITAS, A. F. Caracterização de núcleos espontâneos de *Clidemia urceolata* DC. em áreas perturbadas da Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, v.25, n.1, p.199-209.2015

MOTTA NETO, J.A **Avaliação do uso de forrageiras e de adubações na recuperação de propriedades químicas e físicas de um solo degradado pela mineração de xisto**. 1995. Dissertação de mestrado - UFPR, Curitiba – PR.

NEVES, P. F.; SOUSA, M. R. e; OLIVEIRA, J. **Influência da cobertura vegetal na resistência ao escoamento de taludes**. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006. Disponível em: <<http://cegeo.ist.utl.pt/html/publicacoes.shtml>> Acesso em: 29 abril de 2016.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Ed. Guanabara, 1988.

PETERSEN, S.L.; ROUNDY, B.A.; BRYANT, R.M. Revegetation methods for high elevation roadsides at Bryce Canyon National Park, Utah. **Restoration Ecology**, v. 12, n. 2, p. 248-257, 2004

PETRA. **Plano de Controle Ambiental da mineradora Petra**. Queimados, 2012. 64p.

PIMM, S.L. Community structure and stability. In: Soulé, M. (ed.). **Conservation biology: The science of scarcity and diversity**. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, MA, USA. p. 309-329, 1986.

PINHEIRO, C. A. A. **Dinamismos dos processos erosivos em fontes pontuais de emissão de sedimentos para a baía de Sepetiba**. 2004. 67f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

POVIDELO, L. A.; NETO, R. M. Passivos ambientais em cidades pequenas: uma proposta de recuperação para cava de argila abandonada em Tambaú (SP). **Estudos Geográficos**, v. 4, n. 2, p. 53-67, 2006.

PRALON, A. Z.; MARTINS, M. A. Utilização do resíduo industrial Ferkal na produção de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia*, em estéril de extração de argila, inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 55-63, 2001.

ROPPA, C.; VALCARCEL, R.; BAYLÃO JR, H.F. Avaliação da regeneração em ecossistemas perturbados como indicador da restauração em ambientes com marcada estacionalidade, Nova Iguaçu-RJ. **FLORESTA**, v. 42, n.2, p.257-268, 2012.

RUIVO, M.L.P. **Vegetação e características do solo como indicadores de reabilitação de áreas minerada na Amazônia Oriental**. Viçosa, UFV, 1998. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

SANTOS, J. F. **Avaliação da Reabilitação em Área de Empréstimo a Partir de Reflorestamentos na Mata Atlântica**. 2010. 186f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

SANCHES, P.A. **Propertise and management of soil in the topics**. John Wiley & Sons. New York, 1976.

SILVA, G. P.; FONTES, M. P. F.; COSTA, L. M.; BARROS, N F. Caracterização química, física e mineralógica de estéreis e rejeito da mineração de ferro da Mina de Alegria, Mariana-MG. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 45-52, 2006.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**, n. 8, 2007.

SILVA, R. T. **Reabilitação de Voçorocas por medidas físicas: indicadores ecológicos e hidrológicos**. 89f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2003.

SILVA, Z. S. **Sucessão Vegetal em área de empréstimo: Proposta Metodológica**. 73f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 1996

SOUZA, P. A.; VENTURIN, N.; MACEDO, L. R. G.; ALVARENGA, M. I. N.; SILVA, V. F. Estabelecimento de espécies arbóreas em recuperação de área degradada pela extração de areia. **Cerne**, v. 7, n. 2, p. 43-52, 2001.

STOLF, R. **Penetrômetro de Impacto Stolf – Programa de manipulação de dados em Excel-VBA**, UFSCar, 2011.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. Penetrômetro de impacto – modelo IAA/ Planalsucar – STOLF. **STAB**, Piracicaba, v.1, n.3, p.18-23, 1983.

TEIXEIRA, G. M.; FIGUEIREDO, P.H.A.; VALCARCEL, R.; AMORIM, T.A. Regeneração de floresta atlântica sob níveis diferenciados de perturbação antrópica: implicações para restauração. **Sientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p.533-544, 2014

UFRRJ, **Workshop sobre recuperação de áreas degradadas**. UFRRJ/IF/DCA. Itaguaí, 1991.

VALCARCEL, R.; D'ALTERIO, C. F. V. Medidas físico-biológicas de recuperação de áreas degradadas: avaliação das modificações edáficas e fitossociológicas. **Floresta e Ambiente**, v. 5, n. 1, p.68-88, 1998.

VALCARCEL, R.; SILVA, Z. S. A eficiência conservacionista de medidas de recuperação de áreas degradadas: proposta metodológica. **Floresta**, v. 27, p. 101-114, 2000.