

LUCAS JESUS DA SILVEIRA

**ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM ÁREAS DE MINERAÇÃO DE
BAUXITA, PRÉ E PÓS LAVRA, NA ZONA DA MATA MINEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S587e
2017
Silveira, Lucas Jesus da, 1990-
Escoamento superficial em áreas de mineração de bauxita,
pré e pós lavra, na Zona da Mata Mineira / Lucas Jesus da
Silveira. – Viçosa, MG, 2017.
xiii, 77f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.71-77.

1. Hidrologia. 2. Bacias hidrográficas - Manejo. 3. Bauxita -
Minas e recursos minerais. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDD 22 ed. 634.9116

LUCAS JESUS DA SILVEIRA

**ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM ÁREAS DE MINERAÇÃO DE
BAUXITA, PRÉ E PÓS LAVRA, NA ZONA DA MATA MINEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 18 de Julho de 2017.



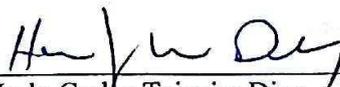
Kelly Cristina Tonello



Glaucio Marcelino Marques



Julieta Bramorski



Herly Carlos Teixeira Dias
(Orientador)

*“Bendito sejas, Pai
Pela sede que despertas em nós,
Pelos planos arrojados
Que nos inspiras,
Pela chama que és Tu mesmo
Crepitando em nós...*

*Que importa que a sede fique
Em grande parte insatisfeita?
(ai dos saciados!)
Que importa que os planos
Fiquem mais nos desejos do que na realidade?*

*Quem sabe mais do que TU
Que o êxito
Independa de nós
E só nos pedes
O máximo de entrega
E de boa vontade?...” Dom Helder Câmara*

A Deus, Criador do Mundo e Senhor da Vida...

À Virgem Maria, mãe de Deus e nossa...

Aos meus pais, João Batista e Maria Elizete...

Aos meus irmãos, Eliane e João Marcos...

À minha noiva, Érica Luiza, mulher a quem eu amo...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pelas iluminações, pela predileção e pelos amparos nas urgências.

Aos meus pais, Maria Elizete e João Batista, por me formar, com os seus exemplos, um homem de fé, ético e terno.

Aos meus irmãos, Eliane e João Marcos, pelos apoios, conselhos, pelas brincadeiras, pela descontração e amizade.

Aos meus avós, Maria (*in memoriam*) e Sérgio (*in memoriam*), Ana e Benetido (*in memoriam*) pelas orações, intercessões e por me ensinarem a verdadeira importância da vida.

À minha noiva, Érica Luiza, pelo amor, pelos sonhos, desejos, pela paciência, doação e compreensão.

À Universidade Federal de Viçosa pela excelência e oportunidade de mais uma etapa que se conclui – *Ediscere, Scire, Agere, Vincere*.

Ao professor e doutor Herly Carlos Teixeira Dias pela orientação, amizade, apoio, firmeza e doação, ensinando a ser forte nos momentos de maiores dificuldades.

Aos membros da banca examinadora, Prof^a. Dra. Kelly Cristina Tonello, Prof. Dr. Glaucio Marcelino Marques e Dra. Julieta Bramorski, pela prontidão e prazer em aceitar o convite para compor a banca, também pelas sugestões e incentivos dados.

Aos colegas da Pós-graduação, em especial ao João Paulo e Luiz Eduardo que integraram o grupo de pesquisa, mas também ao Rodolfo, Sérgio, João Carlos, Túlio e à Aline pela colaboração em inúmeros momentos e amizade.

Ao Departamento de Engenharia Florestal e Laboratório de Hidrologia Florestal pelo suporte para que tudo isso se tornasse possível, e aos queridos funcionários: Alexandre, Dilson, Marquione, Chiquinho, Jussara, Beth, Machado, Edna e Alexandro por estarem sempre dispostos a ajudar.

Aos estimados professores Dr. Helio Garcia Leite, Dr. Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, Dr. Cláudio Mudadu Silva, Dr. Eduardo Euclides de Lima e Borges e Dr. Sebastião Renato Valverde do DEF, Dr. Liovando Marciano da Costa, Dr. Igor Rodrigues de Assis e Dr. Teogenes Senna de Oliveira do DPS, Dr. Caetano Marciano de Souza do DFT e Dr. Fernando Pinheiro Reis do DET que contribuíram nesta etapa ministrando suas aulas e trocando conhecimentos, com dedicação ao ensino, formação de profissionais e pesquisadores de qualidade, além das conversas agradáveis.

Aos doutorandos Jônio Caliman e Rafael Tassinari pelos subsídios estatísticos e boas sugestões apresentadas.

Ao Laboratório de Física do Solo, nas pessoas dos técnicos Cláudio e Evandro e dos pós-graduandos Guilherme, Vanessa, Laís e Maiara, pelos subsídios às análises e auxílios práticos.

À Companhia Brasileira de Alumínio, Unidade Miraí, por acreditar e sonhar em conjunto por essa dissertação, em especial ao Geraldo Sergio Werneck e Christian Andrade pela parceria.

Também à equipe da Operação de Mina, nas pessoas dos supervisores Márcio Greik, André Andrade e Rodrigo Cruzue, dos operadores de máquinas Wellington, Ademir, Douglas, André Vieira, Edmilson, Edson, Simaura, Edinaldo, Renato, Fábio Júnior e Sebastião, também ao Thiago Rezende e aos estagiários Fernando e Érica; e aos demais colaboradores envolvidos: Bruno Mendes (Planejamento), Daniela (Portaria), Fabrício e Marcelo (TCM) e ao Márcio, Vanessa, Jorge e Mota (Fênix).

À Sociedade de Investigações Florestais pela administração ética e responsável dos recursos.

À CAPES pela bolsa de mestrado, sem a qual este trabalho não seria possível de ser realizado com afinco.

Às Oficinas de Oração e Vida pelo crescimento espiritual e trabalho pastoral.

À Fraternidade Pequena Via por me fazer acolhido.

À família de amigos “Irmãos, subam comigo!”: Mariá Braga, Mateus Gandra, Mônica Jorge e Juliana Berger.

À cidade de Viçosa, por me dar a têmpera necessária, me proporcionar encontrar comigo mesmo e com este Deus que se abaixa até mim e se faz presente em cada momento.

À Cimara Batista por me proporcionar encontrar minha essência, minha paz.

Ao meu padrinho Pe. Omar Aparecido Silveira pelas orações, brincadeiras e ligações oportunas.

Aos meus amigos de Bueno Brandão, Viçosa e Águas de Lindóia.

Enfim, a todos aqueles que se fizeram presentes nesta etapa.

Por fim:

Agradeço à vida, única e nova a cada manhã.

BIOGRAFIA

LUCAS JESUS DA SILVEIRA, filho de João Batista da Silveira e Maria Elizete Gomes da Silveira, nasceu no dia 06 de Agosto de 1990. Natural de Bueno Brandão, no Estado de Minas Gerais, Brasil, finalizou o Ensino Médio em dezembro de 2008.

Em Agosto de 2009 ingressou na Universidade Federal de Viçosa, campus Viçosa, no curso de Engenharia Florestal.

Durante a graduação fez estágios nas áreas de Técnicas Silviculturais e Viveiros Florestais (2010) e em Manejo Florestal (2012 – 2014). Também foi bolsista de Iniciação Científica nas áreas de Botânica (2011) e em Economia Ambiental (2014), trabalhando com inventário e neutralização de Gases de Efeito Estufa, no Projeto Carbono Zero.

Defendeu sua monografia na área de Arborização Urbana e Patologia Florestal, em Junho de 2014, cujo título foi “A Estética na Dendrocirurgia”.

Graduou-se em Janeiro de 2015.

Em Julho de 2015 iniciou o Mestrado em Ciência Florestal nesta mesma instituição, na área de concentração de Meio Ambiente e Conservação da Natureza e linha de pesquisa em Hidrologia Florestal e Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Defendeu sua dissertação em 18 de Julho de 2017, obtendo o título de *Magister Scientiae*.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	4
2.1. Caracterização da Área de Estudo	4
2.1.1. Área Pré-lavra – Primeiro Tratamento.....	5
2.1.2. Área Pós-lavra – Segundo Tratamento	6
2.2. Instalação do Experimento	10
2.3. Escoamento Superficial	11
2.4. Precipitação em Aberto e Precipitação Interna	16
2.5. Infiltração	17
2.6. Inventário dos Plantios	19
2.7. Resistência Mecânica do Solo à Penetração.....	19
2.8. Características Químicas do Solo Superficial	21
2.9. Características Físicas do Solo Superficial.....	21
2.10. Serrapilheira.....	23
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
3.1. Plantios	25
3.2. Serrapilheira	30
3.3. Infiltração	32
3.4. Resistência Mecânica do Solo à Penetração.....	35
3.5. Características Físico-Químicas do Solo.....	42
3.6. Precipitação e Escoamento Superficial	46
3.7. Análise Descritiva dos Parâmetros dos Tratamentos	53
3.7.1. Área Pré-lavra	53
3.7.2. Área Pós-lavra.....	59
4. CONCLUSÕES	67
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
6. BIBLIOGRAFIA	71

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localização regional do experimento.....	4
Figura 2. Área experimental do tratamento pré-lavra	6
Figura 3. Vista por satélite da área experimental do tratamento pós-lavra.....	7
Figura 4. Área experimental do tratamento pós-lavra.....	8
Figura 5. Mapa com as classes de inclinação do terreno, curvas de nível, área experimental do tratamento pré-lavra e localização das parcelas coletoras de escoamento superficial.....	10
Figura 6. Mapa com as classes de inclinação do terreno, curvas de nível, área experimental do tratamento pós-lavra e localização das parcelas coletoras de escoamento superficial.....	11
Figura 7. Croqui das parcelas coletoras de escoamento superficial.....	13
Figura 8. Parcelas coletoras de Escoamento Superficial do tratamento da área pós-lavra.	14
Figura 9. Parcelas coletoras de Escoamento Superficial do tratamento da área pré-lavra.	15
Figura 10. Infiltrômetro de anéis concêntricos e ensaio da velocidade e capacidade de infiltração do solo.	18
Figura 11. Medição da resistência mecânica do solo à penetração com o penetrógrafo automatizado.....	20
Figura 12. Amostragem de solo para análises físicas.	22
Figura 13. Coleta da serrapilheira com o uso de gabarito de 0,25 m ²	24
Figura 14. Frequência e distribuição diamétrica das árvores nos plantios das áreas pré-lavra e pós-lavra.	27
Figura 15. Projeção das copas das árvores nas parcelas coletoras de escoamento superficial.	28
Figura 16. Caracterização da superfície do solo da parcela nº5 do tratamento pré-lavra.	29

Figura 17. Rugosidade no terreno proveniente do preparo do solo em nível, na área pós-lavra.	30
Figura 18. Resistência mecânica do solo à penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área pré-lavra.	37
Figura 19. Resistência mecânica do solo à penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área pós-lavra.	38
Figura 20. Corte no perfil do solo da área pré-lavra.	39
Figura 21. Corte no perfil do solo da área pós-lavra.	41
Figura 22. Corte no perfil do solo da área pós-lavra indicando a presença de cascalhos em todo o perfil.	42
Figura 23. Acumulados mensais para precipitação em aberto (Pa) e escoamento superficial (ES), para ambos os tratamentos – Pré e Pós-lavra.	49
Figura 24. Média percentual do escoamento superficial para os dois tratamentos, pré e pós-lavra.	52
Figura 25. Relação do escoamento superficial (mm) com a precipitação em aberto (mm), com a precipitação interna (mm), com as observações (tempo) e a relação entre a precipitação em aberto (mm) e a precipitação interna (mm), para a área pré-lavra.	55
Figura 26. Mapa dos autovetores dos fatores analisados na PCA para a área pré-lavra.	56
Figura 27. Relação da área basal com a $V_{i\text{inicial}}$, $V_{i\text{básica}}$ e c_f e da área de copa projetada com a $V_{i\text{inicial}}$, $V_{i\text{básica}}$ e c_f , para a área pré-lavra.	57
Figura 28. Relação da capacidade de retenção de água da serrapilheira (CRAS) com a $V_{i\text{inicial}}$, $V_{i\text{básica}}$ e c_f , para a área pré-lavra.	58
Figura 29. Relação da densidade do solo (D_s) com a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) e com a porosidade total (PT) (A15), e a relação entre a porosidade total (PT) e a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), para a área pré-lavra.	59
Figura 30. Relação do escoamento superficial (mm) com a precipitação em aberto (mm), com a precipitação interna (mm) e a relação entre a precipitação em aberto (mm) e a precipitação interna (mm), para a área pós-lavra.	61
Figura 31. Mapa dos autovetores dos fatores analisados na PCA para a área pós-lavra.	62

Figura 32. Relação da área basal com a $V_{i\text{inicial}}$, $V_{b\text{ásica}}$ e c_f e da área de copa projetada com a $V_{i\text{inicial}}$, $V_{b\text{ásica}}$ e c_f , para a área pós-lavra.	63
Figura 33. Relação da $V_{i\text{inicial}}$ com a $V_{b\text{ásica}}$ e com a f_c e da $V_{b\text{ásica}}$ com a f_c , para a área pós-lavra.	64
Figura 34. Relação da CRAS com a $V_{i\text{inicial}}$, $V_{b\text{ásica}}$ e f_c , para a área pós-lavra.	64
Figura 35. Relação da RMSP média a 20 cm de profundidade com a profundidade máxima, D_s e PT e relação da macroporosidade do solo com a $V_{i\text{inicial}}$, $V_{b\text{ásica}}$ e f_c , para a área pós-lavra.	65
Figura 36. Relação da D_s com a $Prof.\text{max.}$ e com a PT e da $Prof.\text{max.}$ com a PT , para a área pós-lavra.	66

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Número, área, em metros quadrados, e inclinação, em graus, das parcelas coletoras de escoamento superficial para cada um dos tratamentos.....	12
Tabela 2. Características silviculturais e dendrométricas dos plantios nos dois tratamentos	25
Tabela 3. Médias das características da serrapilheira quando seu peso fresco no momento da coleta (P _{Fr}), peso saturado (P _{St}), peso seco (P _{Sc}), sua capacidade de retenção de água por massa seca (CRAS) e peso de água contido nas amostras frescas (UAS).....	31
Tabela 4. Umidade gravimétrica do solo, velocidade de infiltração inicial (V _{Iinicial}), velocidade de infiltração básica (V _{Ibásica}) e capacidade de infiltração (f _c) dos solos nos dois tratamentos	33
Tabela 5. Umidade gravimétrica, em kg.kg ⁻¹ , dos solos dos dois tratamentos no momento das medições da sua resistência mecânica à penetração	35
Tabela 6. Características físicas e químicas das camadas de 0-10 cm e 10-20 cm dos solos nos dois tratamentos	43
Tabela 7. Valores mensais, no período de avaliação, para a Normal Climatológica (NC) da precipitação acumulada para a região, e as observações médias mensais acumuladas da Precipitação em Aberto (P _a) em milímetros, Precipitação Interna (P _i) em milímetros, Interceptação (I) em percentagem e Escoamento Superficial (ES) em milímetros e percentual	47
Tabela 8. Médias percentuais dos escoamentos superficiais em cada repetição para cada tratamento, pré e pós-lavra, para realização da análise de variância.	51
Tabela 9. Matriz correlação de Pearson para cada par de fatores estudados na área pré-lavra.....	54
Tabela 10. Matriz correlação de Pearson para cada par de fatores estudados na área pós-lavra	60

RESUMO

SILVEIRA, Lucas Jesus da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **Escoamento superficial em áreas de mineração de bauxita, pré e pós lavra, na Zona da Mata Mineira.** Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.

A sustentabilidade das áreas após a exploração do minério bauxita, que em Miraí se encontram na forma de corpos superficiais, é dependente de todo processo de lavra e reabilitação, sendo o escoamento superficial o processo hidrológico ao qual estão ligadas as perdas de recursos naturais, tais como água, solo, nutrientes, matéria orgânica e microrganismos. Avaliou-se o escoamento superficial em duas áreas de mineração, pré e pós-lavra de bauxita, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob plantio de eucalipto e mesma classe de declividade. Observou-se que o escoamento superficial na área pós-lavra (0,17%) foi significativamente menor ($\rho < 0,01$) em virtude da maior área de copa projetada do plantio ($12.924,92 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$) e do preparo em nível do terreno, em contraste com o escoamento superficial na área pré-lavra (0,56%), que apresentou um plantio heterogêneo com grande número de falhas (31%), baixa área de copa projetada ($7.696,37 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$), solo com característica hidrofóbica e preparo do solo paralelo ao declive, proporcionando um escoamento superficial praticamente nulo em chuvas de até 30 mm para a área pós-lavra e somente de 10 mm para a área pré-lavra. A caracterização dos dois ambientes, pré e pós-lavra, e a correlação entre seus atributos, foi satisfatória. O processo de reabilitação da área minerada satisfez a diminuição do escoamento superficial em virtude da implantação de um plantio mais produtivo, apresentando uma densidade de copa maior e um menor número de falhas (0%), e um manejo do solo mais adequado.

ABSTRACT

SILVEIRA, Lucas Jesus da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2017. **Surface runoff in areas of bauxite mining, before and after mining, in the Zona da Mata Mineira.** Adviser: Herly Carlos Teixeira Dias.

The sustainability of the post-mining areas of the bauxite ore, which in Miraf are superficial ore bodies, is dependent on all mining and rehabilitation processes, being the surface runoff the hydrological process to which losses of natural resources such as water, soil, nutrients, organic matter and microorganisms are linked. Surface runoff was evaluated in two mining areas, pre- and post-bauxite mining, in a dystrophic Red-Yellow Latosol under eucalyptus plantation and the same slope class. It was observed that the surface runoff in the post-mining area (0.17%) was significantly lower ($p < 0.01$) due to the higher projected leaf area ($12,924.92 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$) and site preparation at level, in contrast to the surface runoff in the pre-mining area (0.56%), which presented heterogenous planting with large number of faults (31%), low projected leaf area ($7,696.37 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$), hydrophobic soil and site preparation parallel to the slope, providing virtually zero surface runoff in rainfall up to 30 mm for a post-mining area and only 10 mm for a pre-mining area. The characterization of the two environments, pre- and post-mining, and the correlation between their attributes, was satisfactory. The process of rehabilitation of the mined area satisfied the decrease of the surface runoff due to the implantation of a more productive plantation, presenting a higher crown density and a smaller number of faults (0%), and a more adequate soil management.

1. INTRODUÇÃO

O minério bauxita é o produto do processo de acúmulo e enriquecimento de alumínio, na forma de óxidos de alumínio (Al_2O_3), em lateritas, resultante de um lento processo de intemperismo, de milhões de anos, sob clima tropical úmido ou equatorial, em que ocorreu uma eliminação mais completa de sílica (SOARES, 2013).

Os depósitos de bauxita de Miraí, desenvolvidos do embasamento Pré-Cambriano do “Complexo Juiz de Fora”, ocorrem aproximadamente a 24 Km à nordeste da cidade de Miraí – MG (LOPES; CARVALHO, 1990; SOARES et al., 2014), e são encontrados nos topos e encostas de morros meia-laranja sob a forma de corpos superficiais com até dois quilômetros de comprimento, espessura média de quatro metros, constituída por blocos envoltos em matriz argilosa em proporção de 1:1, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico argiloso, predominantemente (LOPES; BRANQUINHO, 1988; LOPES; CARVALHO, 1990; DEMOLINARI, 2013). Segundo Lopes e Carvalho (1990), esta bauxita “apresenta teores médios de Al_2O_3 na ordem de 42% e mineralogia consistindo essencialmente em gibbsita e goethita e quantidades subordinadas de quartzo e caulinita”.

Porém, para que esse minério seja explorado é necessário que empresa mineradora e o superficiário (proprietário da superfície), negociem o direito de exploração. Nesta etapa de negociações a empresa paga ao superficiário os devidos *royalties* sobre o minério explorado, o aluguel da área (arrendamento) e a indenização sobre a atividade rural desempenhada naquela superfície no período em que a área estiver mobilizada exclusivamente para as atividades de mineração, e também, firma o compromisso legal, ambiental e social de recuperar a área minerada com o mesmo tipo de cultura agrícola pré-existente ou outra de interesse do superficiário (BORGES, 2013), salva a conversão de áreas com vegetação nativa para novas áreas agrícolas. Não existe, atualmente, a supressão da vegetação nativa para exploração do minério. Portanto, é de suma importância que a propriedade rural mantenha sua produtividade tal como era antes da lavra, ou até melhore-a, conservando os recursos hídricos.

É conhecido que o déficit hídrico pode comprometer a produtividade das culturas agrícolas (SANTOS; CARLESSO, 1998; PETTER et al., 2013; SILVA DE SOUZA et al., 2015) por promover alterações na fisiologia das plantas (DAN TATAGIBA et al., 2007; OSAKABE et al., 2014). O decréscimo na produtividade é ainda mais pronunciado quando solos fortemente intemperizados, como os Latossolos, perdem grande parte do seu teor de matéria orgânica, que geralmente se restringe às camadas mais superficiais (PETTER et al., 2013). Nestes solos, a contribuição da matéria orgânica para a capacidade de troca catiônica (CTC) chega à 80% (PACHECO; PETTER, 2011) mostrando que a matéria orgânica do solo (MOS) é a mantenedora da produtividade, e as perdas tanto da matéria orgânica quanto da água disponível no solo (déficit hídrico) tornaria estas áreas improdutivas e insustentáveis.

Dentre os processos hidrológicos, aquele que contribui para essas perdas de maneira mais pronunciada é o escoamento superficial, que constitui na fração da chuva que não infiltra no solo, acumulando-se nas depressões superficiais existentes no solo e, em seguida, escoando laminarmente sobre as microrredes de drenagem efêmeras e porções mais impermeáveis do terreno até convergir para o curso de água mais próximo (SILVEIRA, 2001; PRUSKI et al., 2004; LIMA, 2008). É um processo hidrológico importante tendo em vista que a ele estão associadas a formação de cursos d'água intermitentes e as perdas de água, solo, matéria orgânica, microrganismos e nutrientes, e, dessa maneira, o consequente assoreamento dos cursos d'água em virtude de processos erosivos, a eutrofização, as cheias, a perda das qualidades físicas, químicas e biológicas dos solos (LIMA, 2008).

Portanto, é importante verificar se há diferenças significativas no escoamento superficial das áreas pré e pós-lavra, pois, a partir daí, pode-se traçar as melhores metas, desenvolver e modificar processos e parâmetros de avaliação da qualidade física do solo, prezando pela diminuição do escoamento superficial das áreas reabilitadas.

Por isso, este trabalho teve por objetivo geral avaliar e comparar o escoamento superficial de uma área pré-lavra de bauxita com outra área pós-lavra (em reabilitação), ambas com plantio de eucalipto e mesma classe de declividade. Sendo os objetivos específicos: verificar se o escoamento superficial na área pós-

lavra é maior do que o escoamento superficial na área ainda não minerada (pré-lavra); caracterizar os parâmetros dendrométricos dos plantios, físicos e químicos dos solos e físico das serrapilheiras dos dois tratamentos (pré e pós-lavra) que possam estar influenciando a geração de escoamento superficial; e verificar se o processo de reabilitação das áreas mineradas é satisfatório quanto à diminuição do escoamento superficial.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da Área de Estudo

A presente Dissertação foi conduzida em condições de campo em duas propriedades rurais com atividades de silvicultura, na Região da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, as quais continham minério bauxita em seu subsolo (Figura 1).

O relevo da região apresenta-se acidentado, variando de fortemente ondulado a montanhoso (MARISCAL-FLORES, 1993), com predomínio de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (BORGES, 2013) e vegetação nativa classificada como Estacional Semidecidual Montana, no domínio Mata Atlântica (IBGE, 2012).

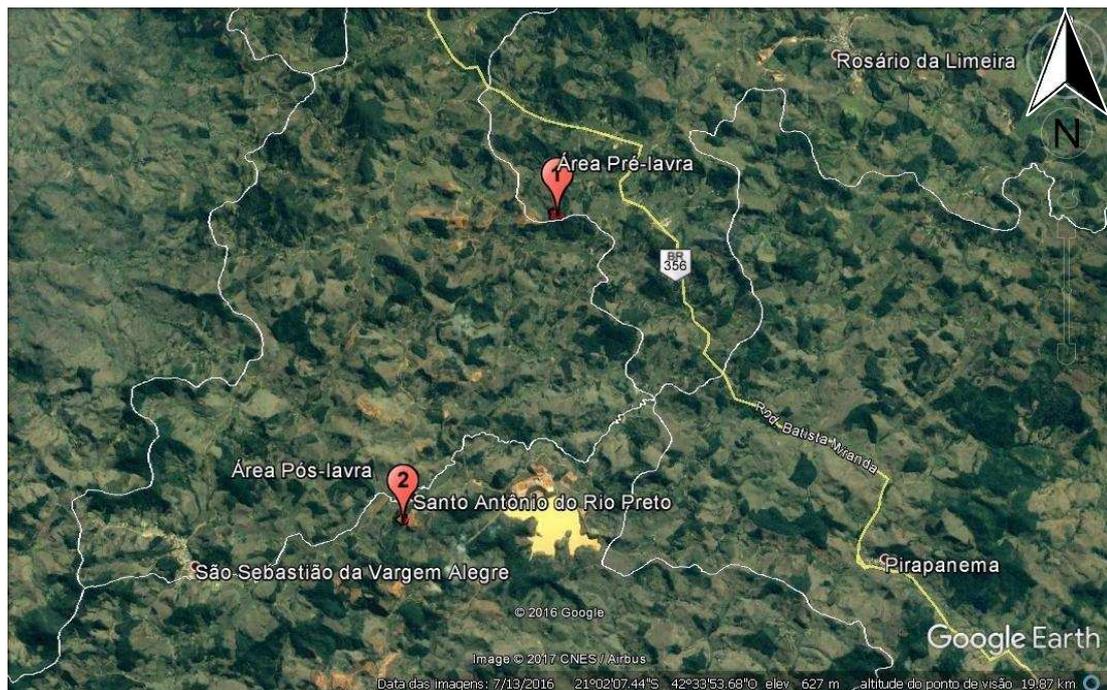


Figura 1. Localização regional do experimento. O marcador vermelho nº 1 indica a localização do primeiro tratamento, área pré-lavra, e o marcador vermelho nº 2 indica a localização do segundo tratamento, área pós-lavra, a linha amarela indica a rodovia BR-356 e as linhas brancas os limites intermunicipais. Fonte: Adaptado do Google Earth, 2017.

2.1.1. Área Pré-lavra – Primeiro Tratamento

Localizada no município de Rosário da Limeira, Minas Gerais, o clima da região é classificado como Cwb (Köppen) mesotérmico com Verão temperado e chuvoso e Inverno seco, com precipitação média anual de 1.336 mm, temperatura média anual é 19 °C (ALVAREZ et al., 2013). A altitude da área experimental varia entre 872 a 923 metros de altitude, a exposição do terreno é voltada para sudoeste e foi montado sobre o solo, em um plantio seminal de eucalipto, de oito anos de idade, cujo minério de bauxita, com volume estimado de 68.140 m³ e espessura média de 3,8 m de minério, ainda não havia sido lavrado.

Procurou-se evitar ao máximo alterar o sistema, mantendo as características tal qual foram encontradas, ou seja, sem roçadas, com a presença de samambaias acima de 1,30 metros e em média 10 centímetros de serrapilheira, evitando o pisoteio na área interna das parcelas.

Os tratos silviculturais do plantio consistiram em preparo convencional do solo “morro a baixo” e 150 gramas de adubo 20-05-20 por cova apenas no plantio. Não foi feita adubação de cobertura, combate a formigas cortadeiras ou à mato-competição e nem replantio de falhas.

A presente área está negociada e arrendada pela empresa mineradora, e a alocação das parcelas coletoras foi feita estrategicamente de modo a imobilizar o menor volume de minério possível, caso fosse necessário sua extração durante a coleta de dados. Em Janeiro de 2017, foi necessária a extração desse minério (Figura 2).

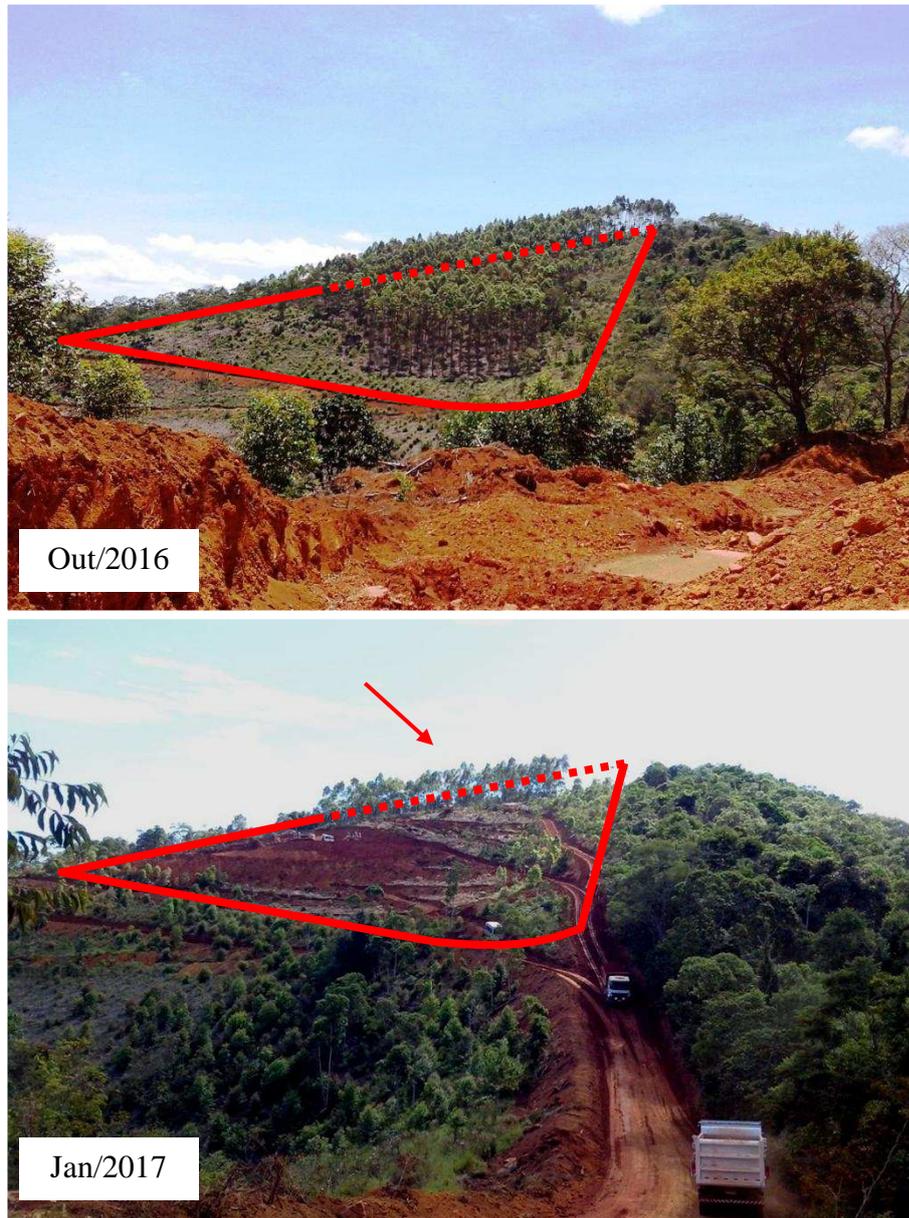


Figura 2. Área experimental do tratamento pré-lavra durante a instalação das parcelas coletoras de escoamento superficial (Out/2016) e após a abertura da mina para as atividades de lavra, em meados de Janeiro de 2017 (Jan/2017), com a conservação da área das parcelas (árvores indicadas pela seta).

2.1.2. Área Pós-lavra – Segundo Tratamento

Localizada no distrito de Santo Antônio do Rio Preto, município de Mirai, Minas Gerais, o clima da região é classificado como Cwb (Köppen) mesotérmico com Verão temperado e chuvoso e Inverno seco, com precipitação média anual é de 1.332 mm, temperatura média anual é 18,7 °C (ALVAREZ et al., 2013). A altitude da área experimental varia entre 807 a 818 metros de altitude, a exposição do terreno

é para o noroeste e foi montado sobre o solo, em um plantio clonal de *Eucalyptus* do híbrido AEC I144, de 2,5 anos de idade, onde o minério de bauxita com espessura média de 5,1 m e volume estimado de 176.200 m³ foi extraído entre Julho de 2013 e Julho de 2014, a reconformação feita entre Agosto e Novembro de 2014 (Figura 3) e o plantio realizado entre Dezembro de 2014 e Janeiro de 2015 (Figura 4).



Figura 3. Vista por satélite da área experimental do tratamento pós-lavra antes da lavra (A), em Agosto de 2010, e ao final da lavra e início da reconformação topográfica (B), em agosto de 2014. Fonte: Adaptado do Google Earth, 2017.

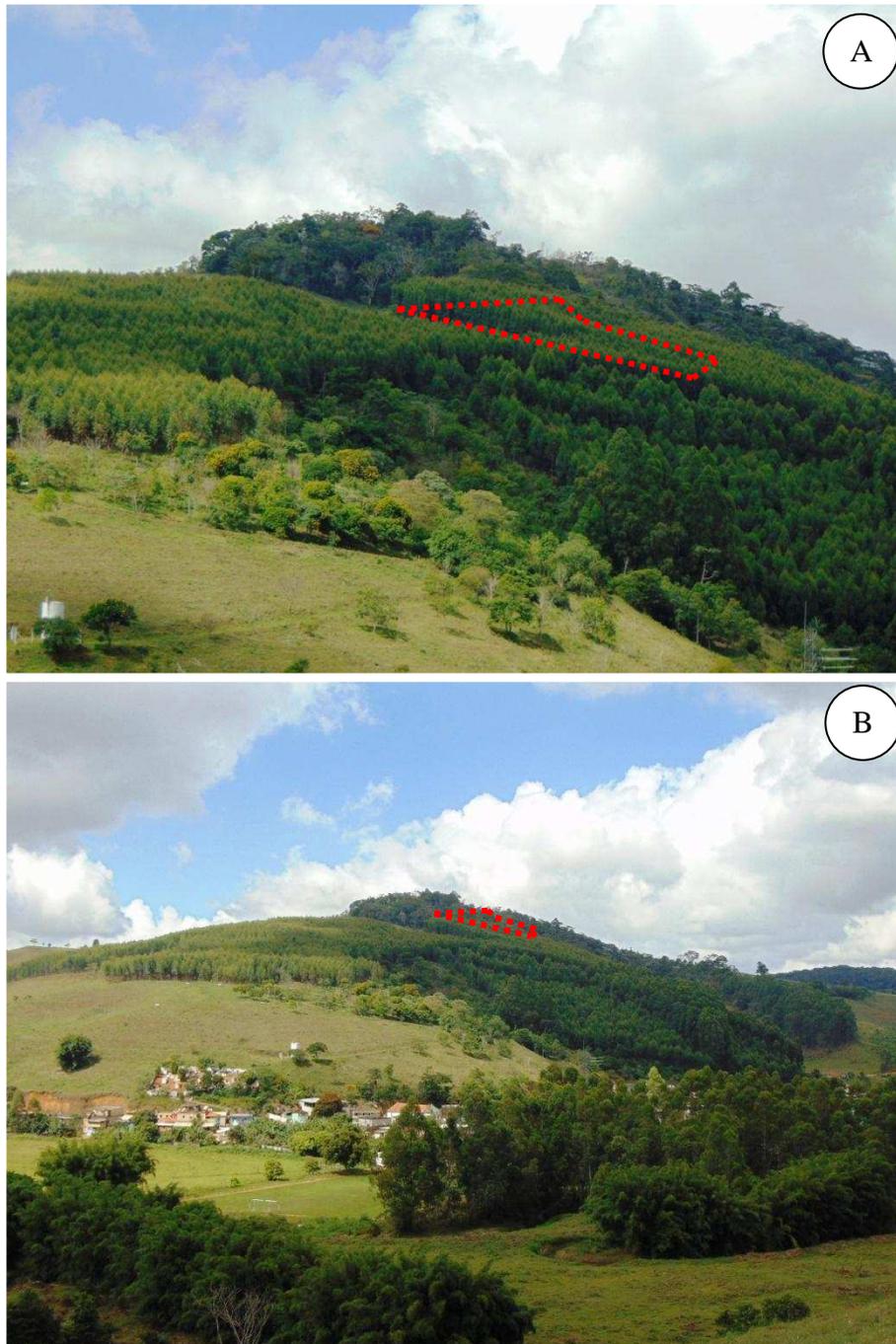


Figura 4. Área experimental do tratamento pós-lavra, em meados de Janeiro de 2017. A) Localização dentro do plantio do tratamento onde as parcelas coletoras de escoamento superficial foram instaladas. B) Vista panorâmica da área pós-lavra (morro) e vista parcial do distrito de Santo Antônio do Rio Preto (várzea).

A sequência das operações de abertura, exploração, fechamento e reabilitação das minas são as seguintes: (1) construção de acessos e do sistema de drenagem das estradas com poços de decantação de particulados em suspensão; (2) decapeamento, que consiste na remoção da vegetação e do solo rico (*top-soil*) em sentido

descendente, preferencialmente, com trator de esteiras; (3) estocagem do *top-soil* em leiras, construídas obrigatoriamente em local onde não ocorra contaminação com minério; (4) instalação do sistema de drenagem dentro da mina; (5) extração do minério por retroescavadeiras na forma de bancadas, desenvolvendo a lavra no sentido descendente, preferencialmente; (6) reconformação topográfica com o estéril (*saprolito*) e, posterior, subsolagem; (7) espalhamento do *top-soil* à uma profundidade média de 30 cm em toda área e, posterior, subsolagem; (8) implantação de terraços com trator de esteiras; (9) correção da acidez (calagem) e fertilidade do solo (fosfatagem) em área total; (10) plantio e adubação; e o (11) monitoramento e condução da área e da vegetação até sua completa reabilitação (GOMES; WERNECK, 2017; FORTUCE *et al.*, 2017a; GOMES *et al.*, 2017; FORTUCE *et al.*, 2017b; FORTUCE *et al.*, 2017c; LOPES; BARROS, 2017a; LOPES; BARROS, 2017b).

Na presente área foi utilizado 4.000 kg.ha⁻¹ de calcário dolomítico e 2.000 kg.ha⁻¹ de fosfato natural reativo, cuja composição química foram de 35 a 38% de CaO, 12 a 15% de MgO, 85 a 90% de PRNT e 98 a 102% de PN. Os tratamentos silviculturais do plantio consistiram em coveamento em nível e aplicação de 300 gramas de adubo 04-14-08 por muda, sendo 150 gramas em cada coveta lateral, e semente a lanço nas entre linhas do plantio da forrageira *Brachiaria sp.*. As falhas foram replantadas no primeiro mês após o plantio (Fevereiro de 2015), e a adubação de cobertura foi parcelada em duas aplicações, a primeira no quarto mês após o plantio e a segunda 18 meses após o plantio, sendo utilizados em cada uma delas 150 gramas do formulado 10-05-15 mais 250 gramas do formulado 00-00-54 + 1% Boro por muda. Foi realizado monitoramento e combate a formigas cortadeiras com a aplicação de iscas formicidas granulada (Sulfluramida 0,3%).

Na instalação do experimento, também se procurou manter as características tais quais foram encontradas: sem roçada das plantas forrageiras e sem retirada da serrapilheira, evitando o pisoteio na área interna das parcelas.

A área ainda está arrendada e sobre responsabilidade da empresa mineradora, ou seja, a área ainda está sendo monitorada para poder ser entregue ao superficiário devidamente reabilitada, o que compete dizer que a área está em reabilitação.

2.2. Instalação do Experimento

Em ambos os tratamentos selecionou-se a faixa de 10 a 15,5 graus de inclinação (17,6% a 27,7% de inclinação) para a alocação das parcelas coletoras de escoamento superficial com o auxílio do software ArcGIS v.10.1 da ESRI (Figura 5 e Figura 6).

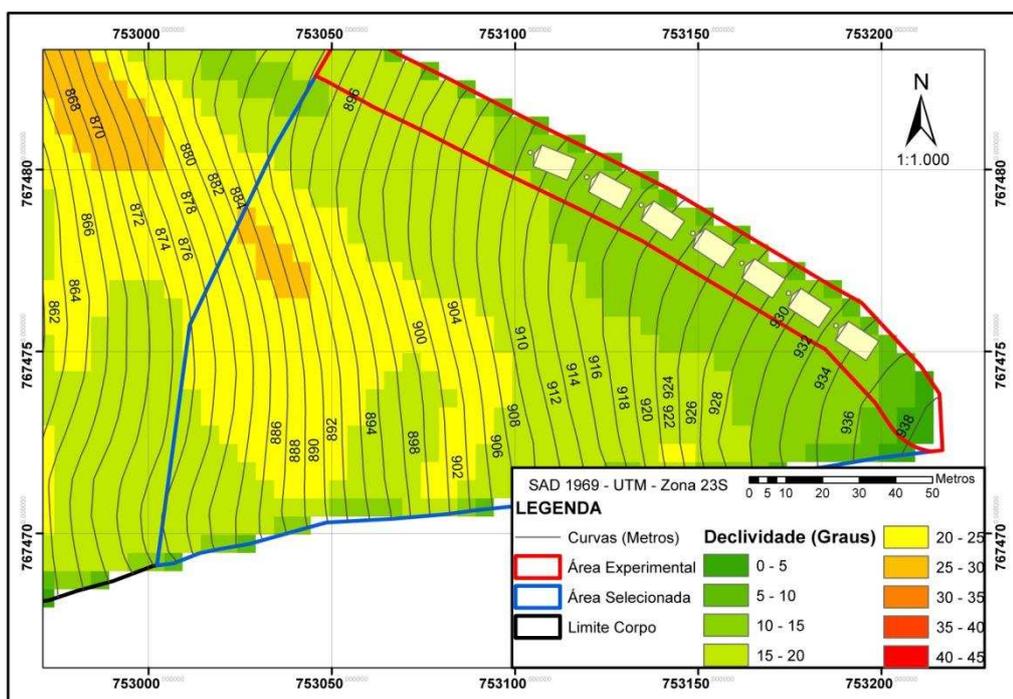


Figura 5. Mapa com as classes de inclinação do terreno, curvas de nível, área experimental do tratamento pré-lavra e localização das parcelas coletoras de escoamento superficial.

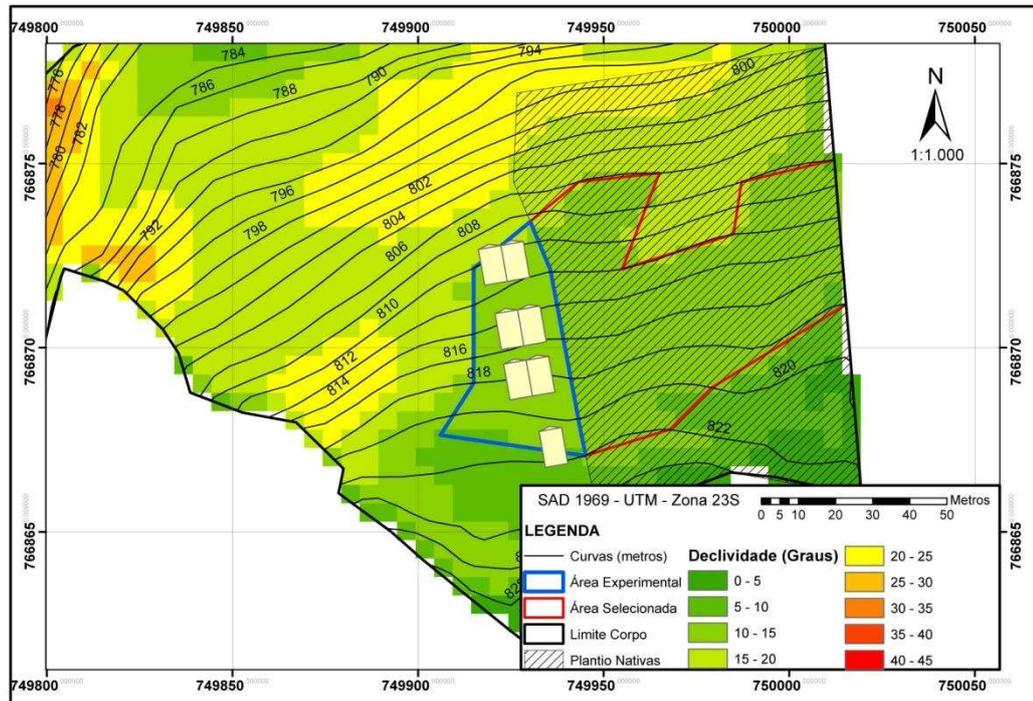


Figura 6. Mapa com as classes de inclinação do terreno, curvas de nível, área experimental do tratamento pós-lavra e localização das parcelas coletoras de escoamento superficial.

Para a alocação das parcelas coletoras de escoamento superficial respeitou um afastamento de no mínimo 3 metros da linha de plantio marginal e a centralização das parcelas com as linhas de plantio e com o desnível do terreno, além da classe de declividade, que foi verificada com a ajuda de um clinômetro de bolha e uma vara de visada. As parcelas foram alocadas com o auxílio de uma trena de 50 metros com o método de triangulação.

2.3. Escoamento Superficial

A fim de se coletar o escoamento superficial gerado após as chuvas, foram lançadas sistematicamente sete parcelas em cada um dos tratamentos, totalizando 14 repetições, sendo sete para cada tratamento, cujas áreas e inclinações estão contidas na Tabela 1.

Tabela 1. Número, área, em metros quadrados, e inclinação, em graus, das parcelas coletoras de escoamento superficial para cada um dos tratamentos

Tratamento	Parcelas Coletoras		
	Número	Área (m ²)	Inclinação (°)
Área Pré-lavra	1	61,96	11,8
	2	60,92	13,5
	3	62,04	12,7
	4	59,73	12,9
	5	63,27	14,0
	6	60,65	11,8
	7	61,37	15,1
Área pós-lavra	1	61,90	12,2
	2	61,96	12,7
	3	62,22	14,5
	4	62,04	12,9
	5	61,64	13,8
	6	61,73	15,1
	7	61,46	15,4

Ao final do afunilamento das parcelas coletoras, foi instalado um tubo de PVC (esgoto) branco de 50 milímetros de bitola para coletar o escoamento superficial e conduzir a água até um recipiente plástico (bombona) de 100 litros, onde era armazenada. Em cada recipiente plástico foi instalado um sistema de flange e registro de gaveta de ½ polegada para realizar a leitura do volume (Figura 7). O volume do escoamento superficial coletado foi medido com o auxílio de um balde transparente de 10 litros, graduado de meio em meio litro, e uma proveta plástica transparente de 1 litro, graduada de 10 em 10 mililitros, e anotados em uma caderneta de campo. As leituras dos volumes foram feitas, quando possível, logo após cada evento de chuva. Assim cada coleta constitui de uma ou mais precipitações.

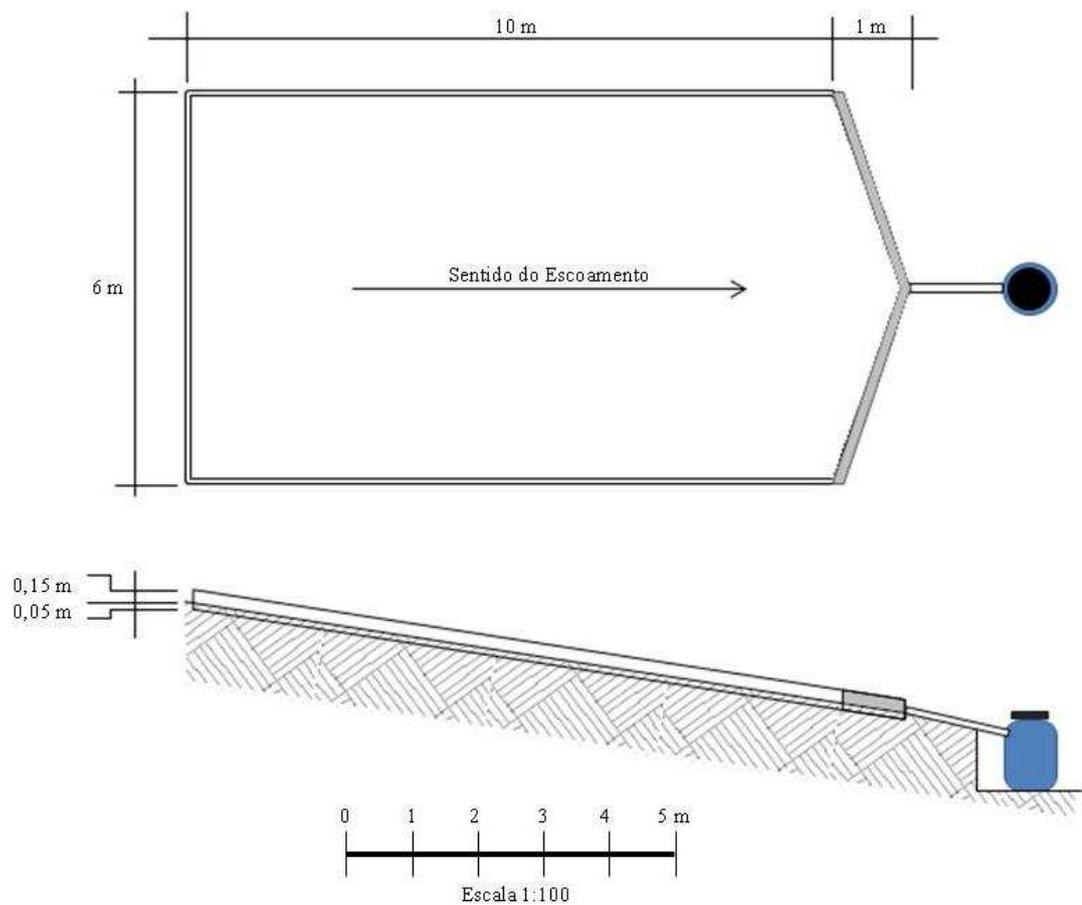


Figura 7. Croqui das parcelas coletoras de escoamento superficial, com sentido da instalação (abaixo), dimensões e profundidade de construção.

As parcelas do segundo tratamento, área pós-lavra, foram entregues no dia 13 de outubro de 2016 (Figura 8), e as parcelas do primeiro tratamento, área pré-lavra, foram entregues no dia 27 de outubro de 2016 (Figura 9).



Figura 8. Parcelas coletoras de escoamento superficial da área pós-lavra, no município de Mirai, em 13 de outubro de 2016. A) Vista da parcela nº 1 de baixo para cima, mostrando o afunilamento construído em alvenaria, e B) a mesma parcela vista de cima para baixo, mostrando a delimitação pelas placas de forro PVC. C) Vista parcial do tratamento, mostrando as parcelas geminadas 2 e 3 (acima), 4 e 5 (abaixo) e seus respectivos recipientes.



Figura 9. Parcelas coletoras de escoamento superficial da área pré-lavra, no município de Rosário da Limeira, em 27 de outubro de 2016. A) Instalação das placas de forro PVC. Nota-se a preservação da vegetação na parte interna da parcela; B) Detalhe da construção do afunilamento em alvenaria; C) Parcela nº 7 construída e a espera para instalação do recipiente de armazenamento do escoamento superficial.

Para a análise estatística dos dados de Escoamento Superficial se utilizou as médias percentuais, em relação à precipitação em aberto, para cada repetição, que são as parcelas coletoras, como expresso na equação 1.

A estatística utilizada foi a Análise de Variância (ANOVA) para dois tratamentos com sete repetições, que foram analisadas no software livre ASSISTAT v.7.7, de Silva e Azevedo (2016).

$$\overline{ES}_p(mm) = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{ES_{pi} \times 100}{Pa_i} \right)}{n}, \text{ sendo} \quad (1)$$

\overline{ES}_p o escoamento superficial médio na p -ésima parcela, em mm

ES_{pi} o escoamento superficial da p -ésima parcela na i -ésima observação, em mm

Pa_i a precipitação em aberto na i -ésima observação, em mm

n é o número de observações realizadas no período de avaliação

2.4. Precipitação em Aberto e Precipitação Interna

A precipitação em aberto foi obtida com o uso de um pluviômetro de área de captação de 176,71 cm². As leituras foram realizadas, quando possível, logo após cada evento de chuva, constituindo cada coleta de uma ou mais precipitações. Para medir do volume captado pelo pluviômetro utilizou-se uma proveta plástica transparente de 1 litro graduada de 10 em 10 mililitros. Os dados em volume observados foram transformados em altura de lâmina de chuva pela equação a seguir:

$$Pa_j(mm) = \frac{\text{Volume de leitura (ml)}}{\text{Área de captação (cm}^2\text{)} / 10} = \frac{Vol_j(ml)}{17,671}, \text{ sendo} \quad (2)$$

Pa_j a precipitação em aberto no j -ésimo evento de chuva, em mm

Vol_j o volume de leitura do pluviômetro no j -ésimo evento de chuva, em ml

Também foram instalados, em cada tratamento, um pluviógrafo modelo RainLog 2.0 da RainWise® Inc., protegido em uma gaiola de ferro, onde eram extraídos mensalmente os dados pluviométricos por evento. Na área pré-lavra a instalação ocorreu em meados de setembro e na área pós-lavra em meados de dezembro.

Para quantificar a precipitação interna, trabalhou-se com a média aritmética de quatro pluviômetros com área de captação de 176,71 cm², como expresso pela equação 3. Os quatro pluviômetros foram instalados dentro dos plantios, porém, fora das parcelas coletoras de escoamento superficial, sendo dois pluviômetros entre planta e outros dois entre linha, para cada um dos tratamentos. Os pluviômetros internos foram instalados no mês de fevereiro de 2017.

$$\overline{P}_{i_j}(\text{mm}) = \frac{(\sum \text{Vol. Interno}_j / 4) (\text{ml})}{17,671}, \text{ sendo} \quad (3)$$

\overline{P}_{i_j} a precipitação média interna no plantio no j -ésimo evento de chuva, em mm

$\sum \text{Vol. Interno}_j$ o somatório dos volumes de leituras do pluviômetros internos no plantio no j -ésimo evento de chuva, em ml

2.5. Infiltração

A velocidade de infiltração e a capacidade de infiltração, para cada tratamento, foram determinadas utilizando-se o infiltrômetro de anéis concêntricos modelo IN2-W da Turf-Tec International[®], cujas medidas são 18 cm de altura e 6 cm de diâmetro para o anel interno e 15 cm de altura e 12 cm de diâmetro para o anel externo (Figura 10A).

Para a realização do ensaio, realizado no dia 17 de maio de 2017, colocou-se água no cilindro externo (Figura 10B) e após a diminuição da sua velocidade de infiltração, colocou-se água no anel interno (Figura 10C) e, com o auxílio de uma régua milimetrada, posicionou o nível de água, realizando as leituras e mantendo o anel externo com água acima da metade. As leituras foram realizadas em intervalos de tempo variando entre 1, 2, 3 e 5 minutos, escolhidos conforme a velocidade de infiltração. A cada leitura completava-se rapidamente o anel interno com água até transbordá-la para o anel externo.

Foram realizadas três amostragens dentro das parcelas sorteadas, representando os três terços do declive, por tratamento.

Todas as seis amostragens foram realizadas no mesmo dia e a umidade do solo encontrava-se abaixo da capacidade de campo. Para avaliar a umidade do solo

em que foram feitas as análises de infiltração, coletou-se amostras de solo na profundidade de 0-20 cm para obter a umidade gravimétrica.



Figura 10. Infiltrômetro de anéis concêntricos (A) e ensaio da velocidade e capacidade de infiltração do solo, sendo em B) a colocação de água no cilindro externo até a diminuição da velocidade de infiltração e em C) a colocação de água no cilindro interno e início do ensaio, em 17 de maio de 2017.

A velocidade de infiltração foi calculada pela equação a seguir:

$$VI \text{ (mm} \times \text{h}^{-1}\text{)} = (Li \times 60) / Ti, \text{ sendo (4)}$$

VI a velocidade de infiltração, em mm.h⁻¹

Li a altura da lâmina de água infiltrada no intervalo de tempo, em mm

Ti o intervalo de tempo, em min.

A velocidade de infiltração inicial (VI_{inicial}) foi aquela observada no primeiro minuto de medição e a velocidade de infiltração final ou básica ($VI_{\text{básica}}$) foi aquela observada quando a infiltração estabilizou-se.

A capacidade de infiltração do solo (f_c) foi aquela observada no primeiro intervalo de tempo quando a VI estabilizou, sendo calculada pela equação:

$$fc \text{ (mm} \times \text{h}^{-1}) = (La \times 60) / Ta, \text{ sendo (5)}$$

fc a capacidade de infiltração, em mm.h⁻¹

La a altura da lâmina de água infiltrada acumulada, em mm

Ta o intervalo de tempo acumulado, em min.

As médias foram analisadas estatisticamente pela Análise de Variância (ANOVA).

2.6. Inventário dos Plantios

A fim de caracterizar os plantios quanto à sua densidade e produtividade, foram coletadas as circunferências com casca à altura do peito (CAP) das árvores presentes dentro das parcelas coletoras de escoamento superficial sorteadas, para se obter a área basal do plantio. Para isso, foram sorteadas três parcelas, para cada tratamento, das quais também foi coletado o raio projetado das copas dessas mesmas árvores, a fim de obter a área de cobertura das copas e caracterizar a interceptação da chuva por elas.

A CAP foi medida com uma fita métrica graduada em milímetros e o raio projetado da copa medido, com o auxílio de uma trena com fita de aço, do limite da projeção da copa com o solo até o fuste, em março de 2017.

Também foram obtidos: o espaçamento dos plantios, medindo a distância entre as árvores e entre as linhas de plantio; e as falhas dos plantios, fazendo a contagem do número de covas sem árvores.

As médias foram analisadas pela ANOVA para dois tratamentos com três repetições (SILVA; AZEVEDO, 2016).

2.7. Resistência Mecânica do Solo à Penetração

Utilizou-se um penetrógrafo automatizado modelo SoloTrack PLG5300 da Falker® para medir a resistência mecânica do solo à penetração, assim como, verificar a profundidade do solo através do perfil. Assim, utilizou uma haste com cone do tipo 2, cujo índice de cone máximo é de 6.800 kPa, velocidade nominal de inserção de 2,4 cm.s⁻¹, profundidade de medição de até 60 cm e resolução de 1 cm.



Figura 11. Medição da resistência mecânica do solo à penetração com o penetrógrafo automatizado na área pré-lavra (acima) e na área pós-lavra (abaixo), em 23 de março de 2017.

A medição consistiu no sorteio de três parcelas coletoras de escoamento superficial, representando os três terços da rampa com a realização de dois acionamentos do equipamento em cada uma das parcelas, totalizando 6 amostragens para cada tratamento (Figura 11). Também foram coletadas amostras compostas de solo para descrição da umidade no momento da realização do teste, nas profundidades de 0 – 10 cm e de 10 – 20 cm, em 23 de março de 2017.

Foi realizado o registro fotográfico do perfil do solo, na profundidade média de 80 cm, dos dois tratamentos, porém o objetivo da análise do perfil do solo foi de identificar a profundidade do minério, solo orgânico e das raízes, na área pré-lavra, e as profundidades do *top-soil* espalhado, do estéril e das raízes, na área pós-lavra, e não de classificar o tipo de solo, nem seus horizontes. Embora seja descrito por Demolinari (2013) a predominância de Latossolos Vermelho-Amarelo distrófico argiloso nestas áreas.

2.8. Características Químicas do Solo Superficial

Para caracterizar a fertilidade do solo foram realizadas coletas de amostras compostas de 12 pontos, em zig-zag, em cada um dos tratamentos, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, utilizando um trado do tipo “holandês”, em 16 de março de 2017.

As amostras foram conduzidas para análise de rotina química e de matéria orgânica, conforme EMBRAPA (1997).

2.9. Características Físicas do Solo Superficial

A fim de caracterizar os atributos físicos do solo e explicar os dados de escoamento superficial, foram realizadas análises de textura, densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo e densidade de partícula, conforme EMBRAPA (2011).

Para a textura do solo, amostras deformadas de solo foram coletadas com trado tipo “holandês” na profundidade de 0-10 cm e distantes entre 1-1,5 metro da lateral das parcelas, sorteadas ao acaso, consistindo em quatro repetições para cada um dos tratamentos (Figura 12A e C). Para as demais análises, amostras indeformadas de solo foram coletadas em anel volumétrico na profundidade de 0-10 cm, distantes entre 1-1,5 metro da lateral das parcelas, com um trado do tipo “Uhland”, consistindo em quatro repetições para cada um dos tratamentos (Figura 12A, B e D), em 16 de março de 2017.

As médias obtidas foram analisadas pela ANOVA para dois tratamentos com quatro repetições (SILVA; AZEVEDO, 2016).



Figura 12. Amostragem de solo para análises físicas, em 16 de março de 2017. A) padronização da coleta do solo deformado e indeformado; B) amostra de solo indeformado em anel volumétrico; C) amostra de solo deformado para análise de textura; e D) coleta de solo indeformado com o trado Uhland.

2.10. Serrapilheira

Foi realizada coleta de amostras de serrapilheira dos tratamentos para verificar a sua capacidade de retenção de água. Para isso, coletaram-se três amostras em cada um dos tratamentos, lançando, ao acaso, um gabarito quadrangular de 0,25 m² próximo às parcelas coletoras de escoamento superficial. Foi recolhido, em sacos de plástico de 50 litros, apenas os restos vegetais depositados sobre a superfície do solo, tais como folhas, ramos, gravetos e frutos secos, e desprezados folhas e ramos secos ainda presos na vegetação que porventura estivesse dentro do limite do gabarito (Figura 13), em 31 de maio de 2017.

As amostras foram conduzidas ao laboratório onde foi aferido o peso fresco, para a obtenção da umidade de coleta e, após, submersas em água por até 72 horas em baldes de plástico. Depois de saturadas, retirou o excesso de água das amostras e realizou sua pesagem e, logo em seguida, foram conduzidas para secagem em estufa à 75 °C com circulação de ar forçada. Após sua completa secagem (peso constante) foi obtido seu peso seco.

A capacidade de retenção de água da serrapilheira (CRAS) foi calculada pela seguinte expressão:

$$CRAS = \frac{PSt - PSc}{PSc}, \text{ sendo} \quad (6)$$

PSt o peso da amostra saturada, em quilogramas

PSc o peso da amostra seca em estufa, em quilogramas

A umidade das amostras de serrapilheira (UAS) no momento da coleta foi calculada pela diferença entre o peso fresco das amostras e o seu peso seco em estufa, ou seja:

$$UAS = PFr - PSc, \text{ sendo} \quad (7)$$

PFr o peso fresco da amostra, em quilogramas

PSc o peso da amostra seca em estufa, em quilogramas

As médias dos valores da CRAS e UAS foram analisadas estatisticamente pela Análise de Variância (ANOVA) para dois tratamentos com três repetições (SILVA; AZEVEDO, 2016).



Figura 13. Coleta da serrapilheira com o uso de gabarito de 0,25 m², em 31 de maio de 2017, sendo: “A e B” o antes e depois, respectivamente, da coleta de uma amostra de serrapilheira do tratamento pré-lavra; “C e D” o antes e depois, respectivamente, da coleta de uma amostra de serrapilheira do tratamento pós-lavra. Nota-se a permanência da vegetação e dos ramos seco ainda presos na braquiária; E) o detalhe da superfície do solo na área pré-lavra após a retirada da serrapilheira. Nota-se a grande quantidade de raízes finas; e F) o detalhe da superfície do solo na área pós-lavra após a retirada da serrapilheira. Nota-se a quantidade de cascalhos e presença de raízes finas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Plantios

As características dos plantios de eucalipto nos dois tratamentos estão descritas a seguir (Tabela 2):

Tabela 2. Características silviculturais e dendrométricas dos plantios nos dois tratamentos, nos municípios de Rosário da Limeira e Mirai, Minas Gerais, em janeiro de 2017. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F.

Característica do Plantio	Tratamentos	
	Área Pré-lavra	Área Pós-lavra
Espécie ou Material Genético	<i>Eucalyptus sp</i> *. (seminal)	Clone I144
Sub-bosque (origem/planta)	Regeneração / samambaias	Semeio/ <i>Brachiaria sp.</i>
Espaçamento (m)	1,5 x 2,5	2,0 x 3,0
Densidade do Plantio (ár.v.ha ⁻¹)	2.666	1.666
Idade (anos)	8	2,5
Falhas (%)	31 b	0 a
Área Basal (m ² .ha ⁻¹)	14,70 a	15,95 a
Área de Copa (m ² .ha ⁻¹)	7.696,37 b	12.924,92 a

* A espécie e procedência não foram identificadas.

É observado para a área pré-lavra um plantio seminal com densidade de plantas de 2.666 ár.v.ha⁻¹, um grande número de falhas (31%), uma baixa produtividade (14,70 m².ha⁻¹) para 8 anos de idade e uma área de cobertura de copa de 7.696,37 m².ha⁻¹ que pode ser considerada baixa para tal densidade de plantio. Para a área pós-lavra, é observado um plantio clonal de alta produtividade, apresentando uma área basal de 15,95 m².ha⁻¹ em 2,5 anos de idade, alta cobertura de copa (12.924,92 m².ha⁻¹) e com densidade de plantas encontrada em plantios clonais comerciais (DEMOLINARI et al., 2007; FIEDLER et al., 2011; ROSADO et al., 2012; CASTRO et al., 2013).

A densidade do plantio pode afetar a disponibilidade de água (BARTON; MONTAGU, 2006) e, como o objetivo da reabilitação das áreas mineradas é retornar à sua capacidade produtiva, o plantio de árvores com grande densidade afeta diretamente a disponibilidade de água, pois todas as plantas juntas irão exigir grande quantidade de recurso que os 30 cm médios de solo rico (*top-soil*) podem não oferecer.

A produtividade das plantas consorciadas (no caso as forrageiras) também é favorecida pela maior distância entrelinha de plantio (menor densidade de árvores), pois interfere diretamente na radiação disponível para as plantas consorciadas (PRASAD et al., 2010; OLIVEIRA NETO et al., 2010; PAULA et al., 2013; OLIVEIRA, 2014; BARBOSA, 2015). A produção de matéria seca das plantas forrageiras é de extrema importância para o aumento do teor de MOS, melhoria da estrutura do solo e diminuição do escoamento superficial (MOLCHANOV, 1963). Portanto, priorizando o êxito da reabilitação, é importante o uso de um arranjo com menor densidade de árvores por área.

Embora não haja diferença estatística quanto à área basal dos dois tratamentos, pode-se afirmar que o plantio na área pós-lavra é mais produtivo, pois atingiu, em menor tempo, um valor de área ocupada por madeira ($m^2 \cdot ha^{-1}$) semelhante ao da área pré-lavra e com cerca de mil árvores a menos por hectare.

Barbosa (2015) também observou que plantios com maior densidade de plantas por área apresentam maior área basal do que aqueles com arranjos menos adensados, sendo o crescimento em área basal correlacionado com o diâmetro e com a densidade de plantio (LEITE et al., 2011; CAMPOS; LEITE, 2013).

A tecnologia empregada pelo superficiário em seu plantio fica aquém daquela praticada pela empresa mineradora. Essas diferenças são percebidas visualmente, sem a necessidade de análises, como a heterogeneidade e número de falhas do plantio da área pré-lavra em contraste com a homogeneidade do plantio da área pós-lavra. Porém, uma dessas diferenças é apresentada a seguir, como a grande heterogeneidade de diâmetros do plantio na área pré-lavra (Figura 14).

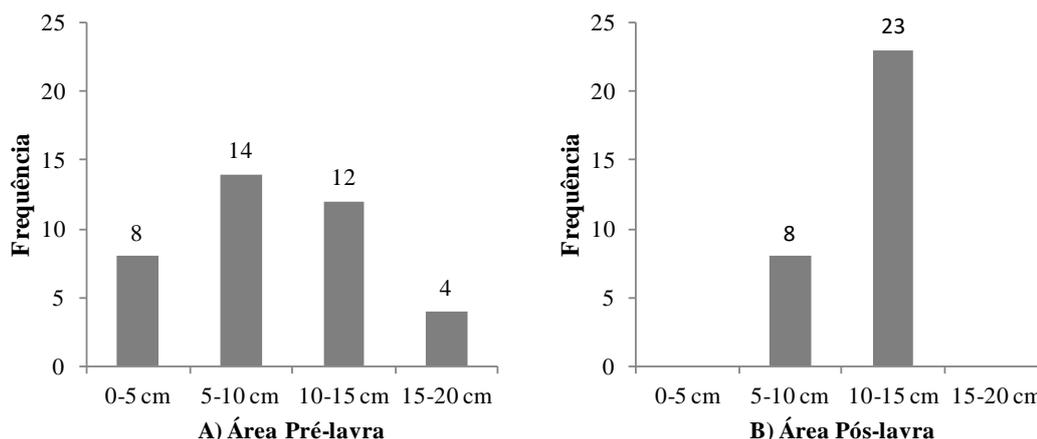


Figura 14. Frequência e distribuição diamétrica das árvores nos plantios das áreas pré-lavra (A) e pós-lavra (B), nos municípios de Rosário da Limeira e Miraf, Minas Gerais, respectivamente, em janeiro de 2017.

Nota-se que, para as três parcelas inventariadas da área pré-lavra, existem árvores com diâmetro a 1,30 metro do solo (DAP) variando das classes de 0-5 cm até 15-20 cm, sendo as maiores frequências da classe de 5-10 cm e 10-15 cm de diâmetro, respectivamente. Para a área pós-lavra, as árvores estão distribuídas mais uniformemente entre as classes de diâmetro de 5-10 cm e 10-20 cm, sendo esta última a de maior frequência.

A grande distribuição diamétrica e o grande número de falhas no plantio da área pré-lavra contribui para uma menor interceptação das gotas de chuva pelo dossel das árvores, dado a menor área de cobertura foliar. Cabe ainda considerar que o maior número de árvores finas contribui para a geração de respingos das gotas de chuva interceptadas pelas copas quando agitadas pelo vento (LIMA, 2008).

Associado a isso, espera-se que a menor área de copa do plantio possa contribuir para a geração de um escoamento superficial maior, devido a maior precipitação interna pela redução da interceptação, sendo esta dependente das características da precipitação, como intensidade e volume, por exemplo, condições climáticas, tipo e densidade da vegetação e período do ano (TUCCI, 2001). A área pré-lavra apresenta uma vegetação bastante heterogênea em termos de densidade de copa e ocupação, indicando uma menor interceptação (Figura 15).

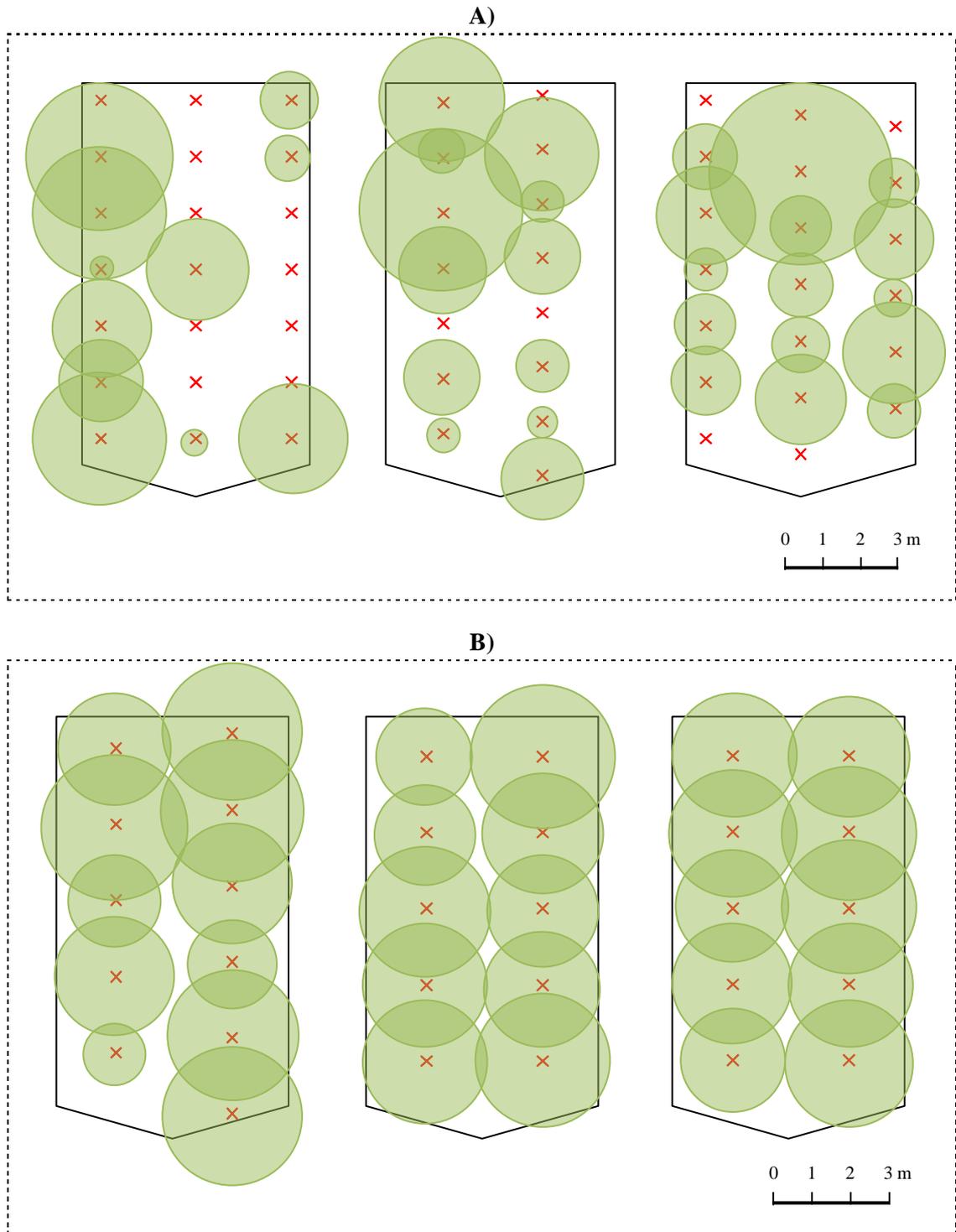


Figura 15. Projeção das copas das árvores nas parcelas coletoras de escoamento superficial, sendo “A” a área pré-lavra e “B” a área pós-lavra, nos municípios de Rosário da Limeira e Miraí, Minas Gerais, respectivamente, em janeiro de 2017.

O preparo do solo é um fator que interfere no escoamento superficial, podendo aumentá-lo se realizado de maneira inadequada ou diminuí-lo se realizado racionalmente (PRUSKI, 2009). Na área pré-lavra o plantio foi realizado, pelo superficiário, preparando o solo a favor do declive (morro-a-baixo) criando caminhos preferenciais (microrrede de drenagem) às águas de escoamento superficial (Figura 16). Ao contrário, a empresa mineradora, segundo seu procedimento operacional, prepara o solo em nível e o plantio das mudas de eucalipto é feito em covas de 30x30x30 cm (LOPES; BARROS, 2017b), criando uma rugosidade na superfície do solo que dificulta o escoamento superficial (Figura 17). Molchanov (1963) diz que “*se em qualquer solo existir um revestimento vegetal e uma superfície rugosa, o escoamento diminui apreciavelmente*”, o que foi observado na área pós-lavra.

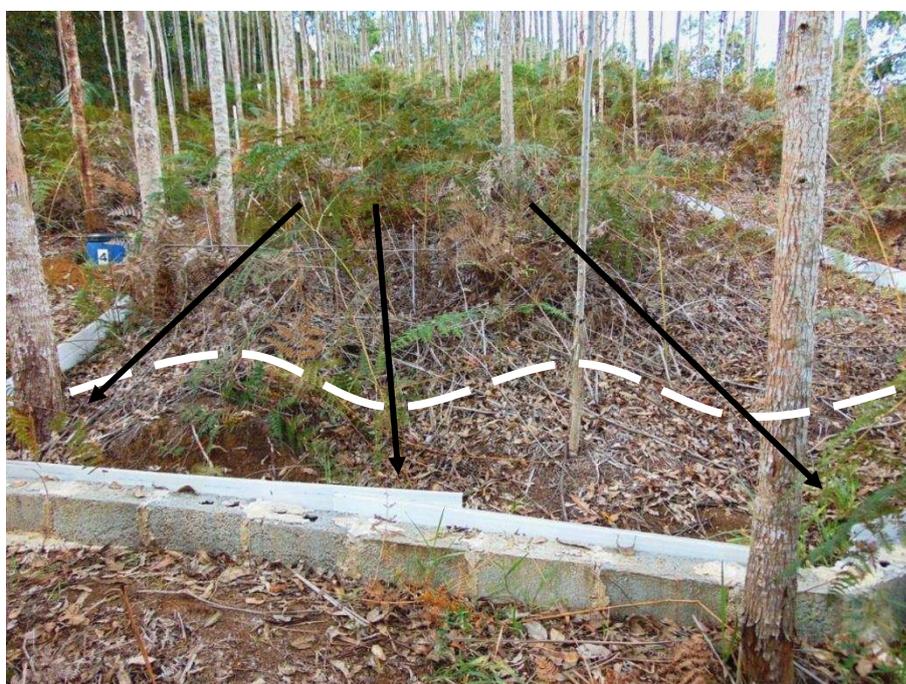


Figura 16. Caracterização da superfície do solo da parcela nº5 do tratamento pré-lavra, onde a superfície do solo e as linhas de plantio estão representadas pela linha tracejada, da qual foram criados caminhos preferenciais ao escoamento superficial da água (setas pretas). Município de Rosário da Limeira, Minas Gerais, em abril de 2017



Figura 17. Rugosidade no terreno proveniente do preparo do solo em nível (A) (Fonte: Companhia Brasileira de Alumínio) e do plantio por coveamento (B), na área pós-lavra. Município de Miraf, Minas Gerais, em 2014 e 2016, respectivamente.

3.2. Serrapilheira

Os valores médios das características físicas da serrapilheira quanto a sua capacidade de retenção de água são apresentados a seguir (

Tabela 3).

Tabela 3. Médias das características da serrapilheira quando seu peso fresco no momento da coleta (PFr), peso saturado (PSt), peso seco (PSc), sua capacidade de retenção de água por massa seca (CRAS) e peso de água contido nas amostras frescas (UAS), para cada tratamento, nos municípios de Rosário da Limeira e Mirai, Minas Gerais, respectivamente, em maio de 2017. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F

Tratamento	PFr		PSt		PSc		Total Mg×ha ⁻¹	CRAS Kg×Kg ⁻¹	UAS Kg			
	-----	Kg	-----	Kg	-----	Kg						
Área Pré-lavra	1,750	a	3,484	a	1,182	a	47,29	a	2,04	a	0,568	a
Área Pós-lavra	0,237	b	0,587	b	0,202	b	8,07	b	1,91	a	0,035	b

Foi encontrada diferença significativa entre os pesos fresco, saturado e seco dos tratamentos, indicando que a quantidade de serrapilheira da área pré-lavra é estatisticamente maior que a quantidade de serrapilheira produzida na área pós-lavra, correspondendo essa diferença a 86,45%, 83,17% e 82,94%, respectivamente.

O total de serrapilheira produzida por hectare também mostrou diferença significativa, alcançando o valor de 47,29 Mg×ha⁻¹ para a área pré-lavra e 8,07 Mg×ha⁻¹ para a área pós-lavra, sendo esses valores 86,04 a 89,51% maior para área pré-lavra e 18,20 a 38,52% maior para a área pós-lavra do que o observado para plantios de eucalipto (MELOS et al., 2010; SANTOS et al., 2017), mostrando uma boa produção de serrapilheira para ambos os tratamentos.

O peso de água contido nas amostras frescas (UAS) também não foi diferente, apresentando diferença significativa, sendo o UAS da área pré-lavra 93,76% maior que o UAS da área pós-lavra.

Quanto à capacidade de retenção de água por massa seca de serrapilheira (CRAS) não foi observada diferença significativa, sendo estatisticamente semelhantes as CRAS da área pré-lavra com a da área pós-lavra, ou seja, a característica das duas serrapilheiras quanto a retenção de água é semelhante. Portanto, a CRAS de ambos os tratamentos são semelhantes, porém a quantidade maior de serrapilheira que a área pré-lavra produz faz com que retenha, estatisticamente, mais água nesta área do que na área pós-lavra.

A CRAS dos dois tratamentos, 2,04 Kg×Kg⁻¹ para a área pré-lavra e 1,91 Kg×Kg⁻¹ para a área pós-lavra, ficaram próximos daquelas observadas para plantios de eucalipto de três anos de idade (2,35 Kg×Kg⁻¹) (MELOS et al., 2010) e abaixo

para Floresta Estacional Semidecidual ($3,75 \text{ Kg} \times \text{Kg}^{-1}$) (FREITAS, 2014), para Floresta Latifoliada Perene ($3,00 \text{ Kg} \times \text{Kg}^{-1}$) (VALLEJO, 1982) e para um fragmento florestal de 30 anos de idade composto por espécies pioneiras e secundárias iniciais ($2,75 \text{ Kg} \times \text{Kg}^{-1}$) (MATEUS et al., 2013). No entanto, é observado um estoque superior de biomassa morta por espécies de Eucalyptus ($\text{Mg} \times \text{ha}^{-1}$) em comparação com demais plantios comerciais com outras espécies (SANTOS et al., 2017), o que vantajoso quando se trabalha com este tipo de cultura na reabilitação das áreas mineradas.

Freitas (2014), estudando a influência da serrapilheira na geração de escoamento superficial em área de Floresta Estacional Semidecidual, verificou um aumento de 10% no escoamento superficial em parcelas coletoras mantidas com solo exposto em comparação às parcelas mantidas com serrapilheira, e pode verificar também que, para chuvas com altura de precipitação abaixo de 20 mm, o escoamento superficial foi muito baixo, sendo influenciado tanto pela interceptação no dossel quanto pela absorção pela serrapilheira que colabora com a infiltração.

As florestas e, principalmente, a serrapilheira, reduzem o escoamento superficial nas regiões montanhosas, ainda mais que nas planícies, proporcionalmente à profundidade das raízes e à sua ação de decomposição no solo, respectivamente, pois contribuem para a melhor estruturação dos solos (MOLCHANOV, 1963).

A importância ecológica da serrapilheira no âmbito hidrológico se deve ao fato de ela funcionar como manta amortecedora das gotas de água, evitando o selamento e salpicamento do solo, além de reter a água e liberá-la lentamente tanto ao solo, mantendo sua umidade por um tempo maior, quanto à atmosfera, reduzindo a taxa de evaporação do solo (VALLEJO, 1982; MELOS et al., 2010; FREITAS, 2014).

3.3. Infiltração

A infiltração é um fenômeno de superfície que consiste no processo de entrada de água no solo (LIMA, 2008). As médias calculadas da umidade gravimétrica, velocidade de infiltração inicial ($V_{i_{inicial}}$), velocidade de infiltração

básica ($VI_{básica}$) e da capacidade de infiltração (f_c) dos solos dos dois tratamentos são apresentadas a seguir (Tabela 4).

Tabela 4. Umidade gravimétrica do solo, velocidade de infiltração inicial ($VI_{inicial}$), velocidade de infiltração básica ($VI_{básica}$) e capacidade de infiltração (f_c) dos solos dos dois tratamentos, nos municípios de Rosário da Limeira e Mirai, Minas Gerais, respectivamente, em maio de 2017. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si e médias seguidas por ns são não significativas pelo teste F

Tratamento	Umidade %	$VI_{inicial}$ -----	$VI_{básica}$ mm.h ⁻¹	f_c -----
Área Pré-lavra	27,54 a	1360 ns	1517 ns	1359 ns
Área Pós-lavra	16,20 b	1840 ns	1051 ns	1244 ns

Foi encontrada diferença significativa na umidade gravimétrica entre os dois tratamentos, indicando que o plantio da área pós-lavra apresenta uma evapotranspiração maior que aquela do plantio da área pré-lavra, isto em virtude da maior produtividade do plantio (maior transpiração), que já foi discutido no item 3.1 (Tabela 2), e da exposição do terreno para noroeste (maior evaporação).

A velocidade de infiltração consiste na taxa de entrada da água no solo em altura de lâmina por unidade de tempo (mm.h⁻¹) (HORTON, 1940), sendo influenciada pela textura e estrutura do solo (LIMA, 2008), assim como pela sua hidrofobicidade (VOGELMANN et al., 2013b).

Não foram observadas diferenças significativas entre as médias da velocidade de infiltração inicial e velocidade de infiltração básica para os dois tratamentos, indicando uma semelhança física entre os solos quanto à infiltração.

Para o solo da área pós-lavra foi observado uma $VI_{inicial}$ maior que a $VI_{básica}$ (1.840 mm.h⁻¹ > 1.051 mm.h⁻¹), o que está de acordo com o descrito por Horton (1940) que: geralmente, durante uma chuva contínua sobre um certo terreno, a taxa de infiltração ($VI_{inicial}$) decresce rapidamente estabilizando-se logo em seguida, proporcionando uma taxa de infiltração constante ($VI_{básica}$) após um determinado intervalo de tempo.

Por sua vez, isto não foi o observado para a área pré-lavra, onde a $VI_{inicial}$ encontrada é menor que a $VI_{básica}$ (1.360 mm.h⁻¹ < 1.517 mm.h⁻¹). Isto é explicado por certa hidrofobicidade no solo da área pré-lavra, observada durante os ensaios de infiltração, conferida pela matéria orgânica, em que os solos hidrofóbicos têm suas

partículas recobertas por substâncias orgânicas hidrofóbicas de diversas origens, conferindo uma absorção mais lenta da água, proporcionando, portanto, uma diminuição da infiltração e da retenção de água e o aumento do escoamento superficial e das erosões (DOERR et al., 2007; VOGELMANN et al., 2013b; VOGELMANN et al., 2015). Porém, após a hidratação dessas substâncias orgânicas esta barreira é vencida e o solo atinge uma taxa de infiltração ($VI_{básica}$) maior que aquela inicial. No Brasil, os solos hidrofóbicos são registrados, principalmente, em áreas de silvicultura e de cultivo de gramíneas (VOGELMANN et al., 2013a).

A $VI_{básica}$ dos solos de ambos os tratamentos são classificadas como muito rápida, acima de 254 mm.h^{-1} , segundo classificação do Serviço de Conservação de Solo dos Estados Unidos (USDA, 1993).

Por sua vez, a capacidade de infiltração (fc) consiste na taxa máxima com que um solo, em determinadas condições, pode absorver a água da chuva, ou seja, uma vez que a infiltração (f) varia com o tempo, principalmente nos primeiros momentos de uma chuva (como já foi apresentado anteriormente), ela decresce até atingir um mínimo onde a capacidade de infiltração (fc) é obtida (HORTON, 1940).

Não foi encontrada diferença significativa entre a fc dos dois tratamentos, indicando que ambos os solos, submetidos às mesmas condições físicas e climatológicas, conferem, estatisticamente, uma mesma capacidade de infiltração para a água da chuva. Os valores da fc (Tabela 4) ficaram dentro do limite encontrado em Latossolo em plantio de eucalipto com a utilização do mesmo infiltrômetro de anéis concêntricos, que foram entre 564 e 2350 mm.h^{-1} (CARVALHO, 2011).

Carvalho (2011) ressalta que, o uso de infiltrômetros, principalmente os de anéis concêntricos, para determinação da infiltração de solos pode gerar falhas, subestimando os dados por: não considerar a influencia da vegetação e a serrapilheira durante o ensaio; alterar a estrutura do solo quando inserido os anéis no solo; e pela área dos anéis ser muito diminuta e a pressão exercida pela coluna de água no solo, o que torna diferente do que acontece durante uma chuva.

3.4. Resistência Mecânica do Solo à Penetração

A importância da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) para este estudo se deve a dois fatores principais: 1) através dessa investigação é possível analisar se existem camadas de solo compactadas, que tem por consequência a diminuição da infiltração pelo aumento da densidade do solo, fazendo com que aumente o escoamento superficial; e 2) o impedimento da penetração das raízes no solo por altos valores de resistência que fazem com que o solo resista à deformação (BRADY; WEIL, 2013).

A RMSP foi medida 48 horas após o término de uma sequência de três eventos consecutivos de chuva, que juntas somaram 94 mm de acumulado, com intensidade de 2,43 mm.h⁻¹ e geração de 0,709% de escoamento superficial, para a área pré-lavra, e 59 mm, com intensidade de 1,29 mm.h⁻¹ e 0,011% de escoamento superficial, para a área pós-lavra. A umidade dos dois solos no momento da medição é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Umidade gravimétrica, em kg.kg⁻¹, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, dos solos dos dois tratamentos no momento das medições da sua resistência mecânica à penetração, nos municípios de Rosário da Limeira e Miraf, Minas Gerais, respectivamente, em 2017

Tratamentos	Umidade (kg.kg ⁻¹)	
	0 – 10 cm	10 – 20 cm
Área Pré-lavra	0,2998	0,3296
Área Pós-lavra	0,1953	0,1966

A RMSP é altamente influenciada pelo teor de água (REICHERT et al., 2010), portanto a avaliação da umidade do solo é imprescindível dado que a RMSP aumenta exponencialmente com o seu decréscimo, em razão do aumento da tensão da água disponível nos poros do solo, e das forças de coesão e adesão das partículas do solo (SILVA et al., 2002; CUNHA et al., 2002).

O teste de teor umidade do solo realizado mostra uma diferença expressiva entre os dois tratamentos, indicando que o solo da área pós-lavra, no momento do teste, poderia estar resistindo mais à penetração da haste no solo, ou seja, apresentando maiores valores de pressão exercida pelo equipamento.

Nota-se também uma diferença no teor de umidade em profundidade da área pré-lavra, isso porque, após a ocorrência de chuva, quando o fenômeno da infiltração

cessa, a umidade do solo tende a se redistribuir em profundidade pelo efeito da transmissão e depleção, aumentando a umidade em profundidade, e a superfície do solo, por sua vez, sofre ainda perda de umidade para a atmosfera pela evapotranspiração. No entanto, esse efeito foi pouco percebido no solo da área pós-lavra, pois, o plantio de eucalipto está próximo ao seu crescimento mais exponencial, onde é demandado um maior volume de água para seus processos metabólicos, ou seja, há uma maior evapotranspiração comparado ao plantio de 8 anos de idade da área pré-lavra.

A RMSP também sofre influência da densidade e textura do solo (REICHERT et al., 2010), sendo que, a um dado valor de densidade, quanto maior o teor de argila de um solo menor será o tamanho médio dos poros, e por consequência, maior será a resistência do solo à penetração das raízes. Ou seja, as raízes penetram mais facilmente um solo arenoso do que um solo argiloso, em condições de igualdade de densidade e com alto teor de água (BRADY; WEIL, 2013).

Neste mesmo sentido, os solos compactados e relativamente secos restringem o crescimento radicular por aumentar a resistência mecânica à penetração (BRADY; WEIL, 2013). Dedecek e Gava (2005) observaram, para Latossolo Vermelho, decréscimo de até 66% na produtividade de eucalipto aos sete anos, em rebrota, nas linhas, com tráfego de equipamentos de colheita em solo úmido. Silva et al. (2006) observaram, para Latossolo Vermelho-Amarelo, redução de 40% na produção de matéria seca de raízes de eucalipto em condições de compactação com alta umidade. Jesus et al., (2010) verificaram que os efeitos do tráfego de equipamentos na qualidade física do solo, durante a colheita anterior de eucalipto, perduram até a rotação seguinte.

Portanto, é necessário que os procedimentos de reabilitação das áreas mineradas que utilizam equipamentos, como a reconformação topográfica, subsolagem, espalhamento do solo rico, terraceamento e calagem, sejam realizadas com o solo seco para evitar sua compactação. A subsolagem cruzada à 60 cm de profundidade já é uma atividade desempenhada pela empresa mineradora.

Quanto aos dados da RMSP obtidos para a área pré-lavra (Figura 18) e para a área pós-lavra (Figura 19) são apresentados a seguir.

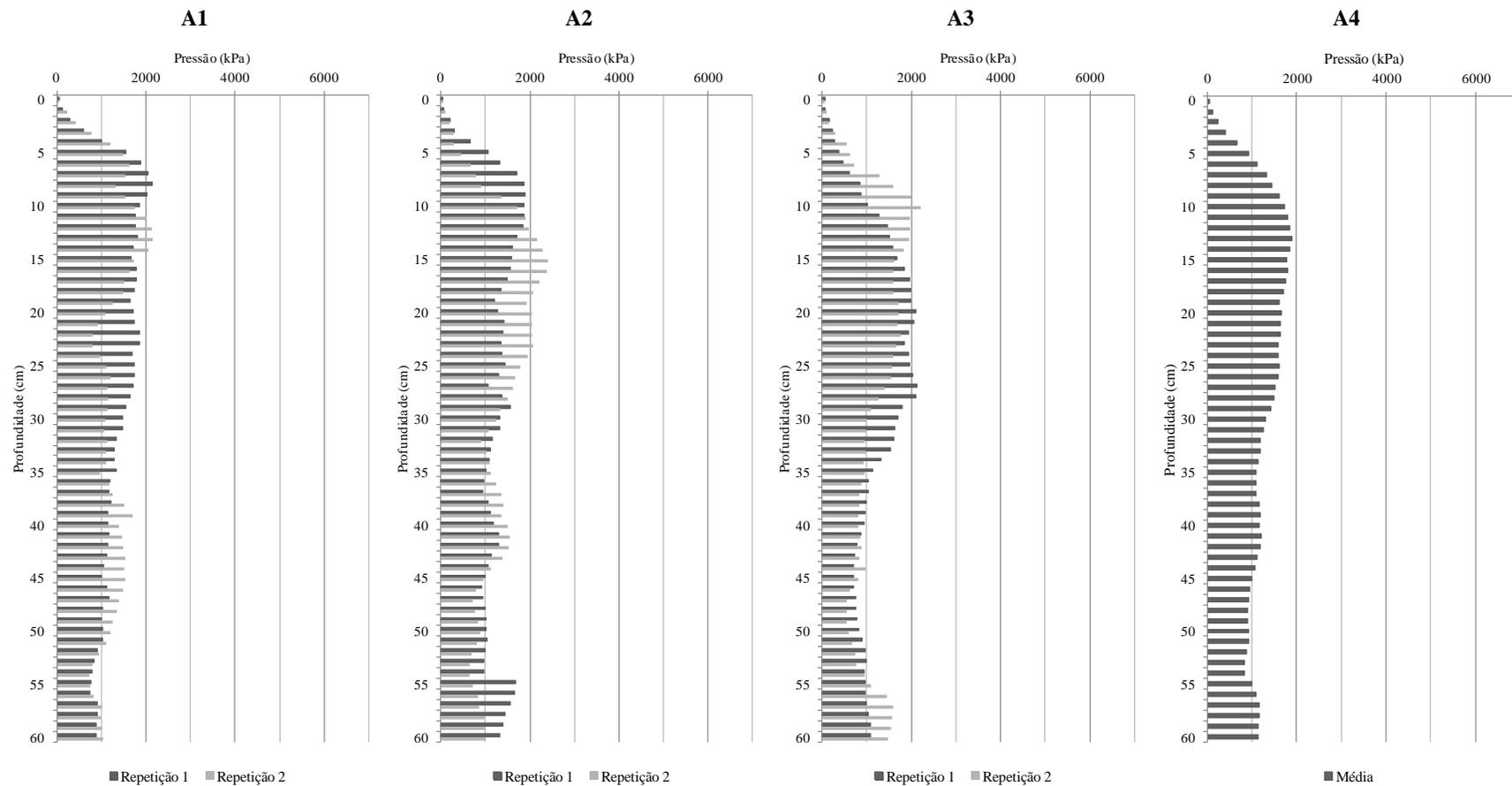


Figura 18. Resistência mecânica do solo à penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área pré-lavra, sendo: A1) o terço inferior; A2) o terço médio; A3) o terço superior da área experimental; e A4) a média geral, no município de Rosário da Limeira, Minas Gerais, em 2017.

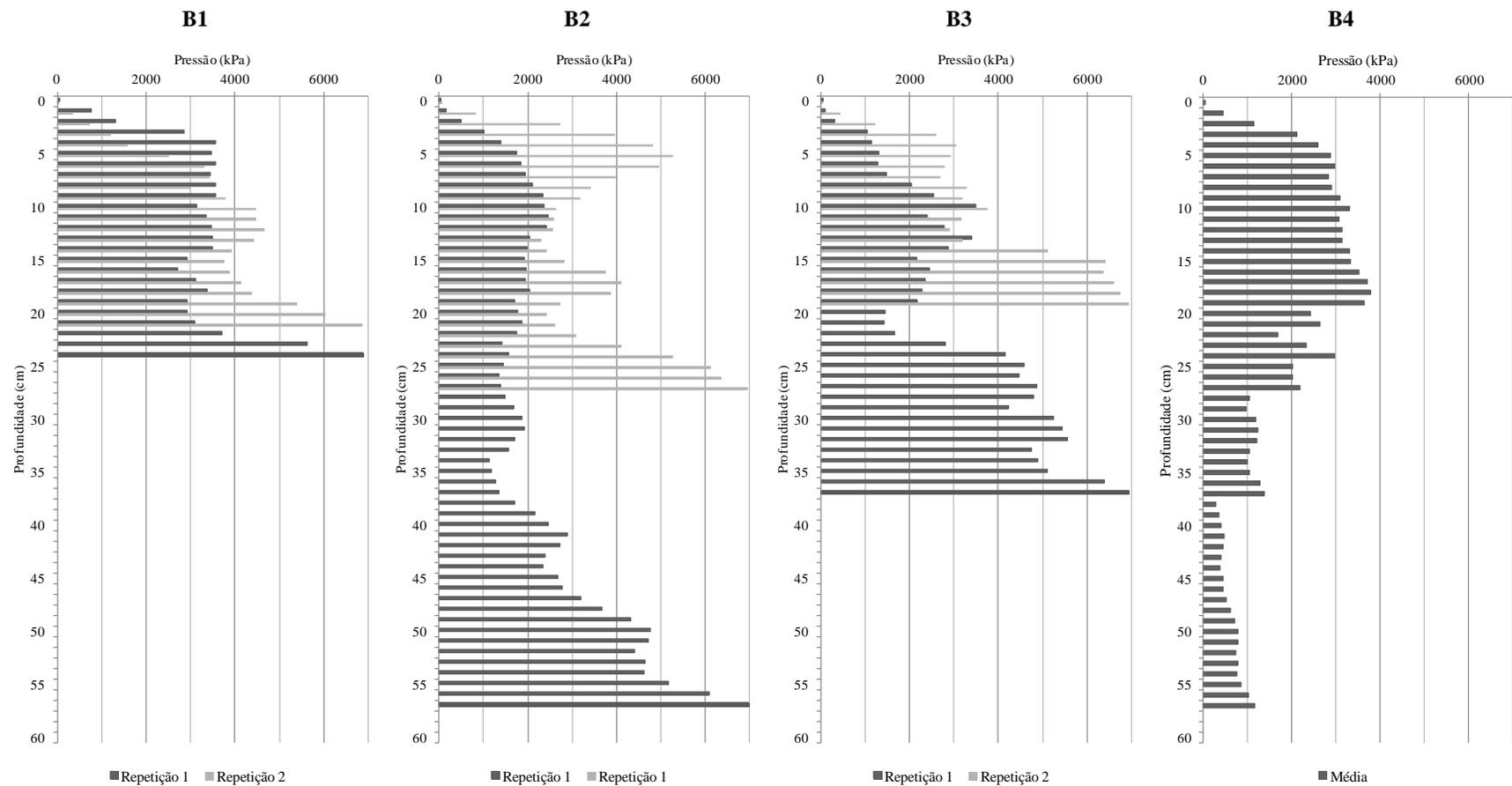


Figura 19. Resistência mecânica do solo à penetração (kPa) em profundidade (cm) para a área pós-lavra, sendo: B1) o terço inferior; B2) o terço médio; B3) o terço superior da área experimental; e B4) a média geral, no município de Miráí, Minas Gerais, em 2017.

Para a área pré-lavra não houve interrupção de nenhum dos seis ensaios por aumento da pressão exercida pelo equipamento acima de 6.800 kPa, atingindo os 60 cm de profundidade em todos os acionamentos. A maior pressão exercida pelo equipamento foi de 2.366 kPa aos 16 cm de profundidade na repetição 2 do terço médio (Figura 18A2). Todos os seis ensaios ficaram, em média, abaixo de 2.000 kPa, sendo as maiores resistências à penetração encontradas entre as profundidades de 8 a 28 cm. Na Figura 18A4, que representa a média dos seis ensaios, a camada que oferece maior resistência mecânica à penetração foi a de 10 a 15 cm. O aumento da RMSD nas profundidades de 55 a 60 cm é explicado pela presença da bauxita acumulada em laterita, como pode ser observado pela Figura 20.

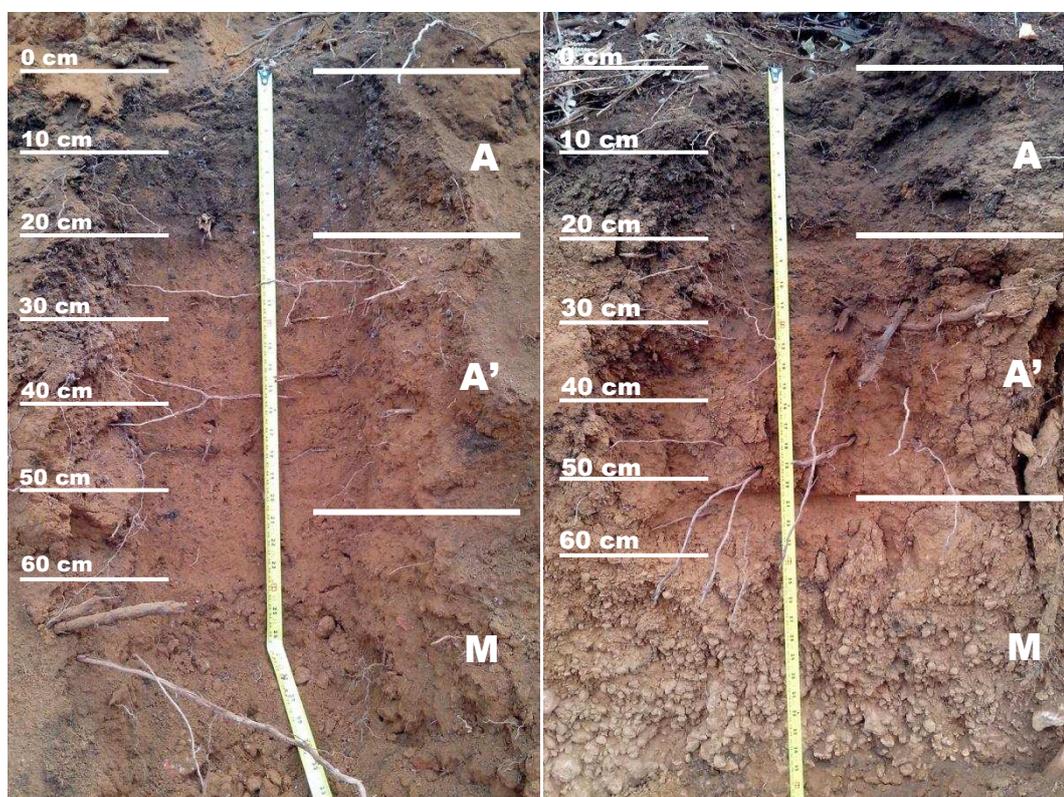


Figura 20. Corte no perfil do solo da área pré-lavra, indicando a profundidade do horizonte orgânico (A) e do minério de bauxita (M), e a presença de raízes finas e raízes grossas da vegetação. O *top-soil* é composto pelos perfis A e A'. Município de Rosário da Limeira, Minas Gerais, em janeiro de 2017.

Nota-se que o perfil do solo da área pré-lavra possui visivelmente um teor grande de matéria orgânica (solo mais escuro) nos primeiros centímetros de solo que decresce gradualmente com o aumento da profundidade. Observa-se também uma boa distribuição de raízes no perfil, mostrando que elas não têm dificuldades de

atingir camadas mais profundas do solo, estando presentes, inclusive, na camada de minério (M).

Para a área pós-lavra, a RMSD foi bem diferente do encontrado para a área pré-lavra (Figura 19). Em todos os seis acionamentos houve interrupção do ensaio pelo equipamento por alcançar valores de pressão acima de 6.800 kPa, sendo: para B1, 6.883 kPa aos 24 cm de profundidade e 6.868 kPa aos 21 cm de profundidade; para B2, 6.960 kPa aos 57 cm de profundidade e 6.960 kPa aos 27 cm de profundidade; e para B3, 6.930 kPa aos 37 cm de profundidade e 6.945 kPa aos 19 cm de profundidade. Na Figura 19B4, que representa a média, a camada de 9 a 19 cm foi aquela que apresentou os maiores valores de pressão exercida, ficando acima de 3.000 kPa.

O aumento súbito da RMSD neste solo possivelmente não esteja associado a existência de camadas compactadas, pois é observado, em campo, uma boa drenagem para esse solo, não sendo verificado, após as chuvas, uma superfície “lavada” e presença de ravinas em virtude do alto volume de escoamento superficial que é observado para solos compactados, como em estradas. Tanto que, são realizados dois procedimentos de subsolagem cruzada durante a fase de reabilitação: após a reconformação topográfica com o estéril (saprolito) e após o espalhamento do *top-soil* (FORTUCE *et al.*, 2017b; FORTUCE *et al.*, 2017c).

A razão desse aumento provavelmente se deve ao aumento da densidade do solo pelo intenso revolvimento que é feito (REICHERT *et al.*, 2010; BORGES, 2013), pela textura inerente ao próprio solo (REICHERT *et al.*, 2010), umidade mais baixa registrada (REICHERT *et al.*, 2010), presença de cascalhos (Figura 22) provenientes da contaminação durante o preparo do solo (revolvimento) com uma bauxita com menor grau de pureza que não foi extraída, e, principalmente, pela presença do saprolito a partir dos 20 cm de profundidade (30,8 cm de profundidade em média) (Figura 21).

O saprolito apresenta grande resistência mecânica à penetração uma vez que não forma estrutura como o solo, havendo uma acomodação das partículas que obstruem os poros que possam existir, além de apresentar textura e mineralogia diferente a do solo.

Segunda a literatura, solos com resistência mecânica à penetração a partir de 2.500 a 3.000 kPa formam uma camada impeditiva para o crescimento de raízes de espécies arbóreas (Greacen e Sands, 1980; Sands et al., 1979; Seixas e Souza, 2007), porém não é o que foi registrado em análise de perfil do solo, onde foi observado o lançamento de raízes pelo eucalipto em profundidades maiores que a do top-soil (Figura 21).

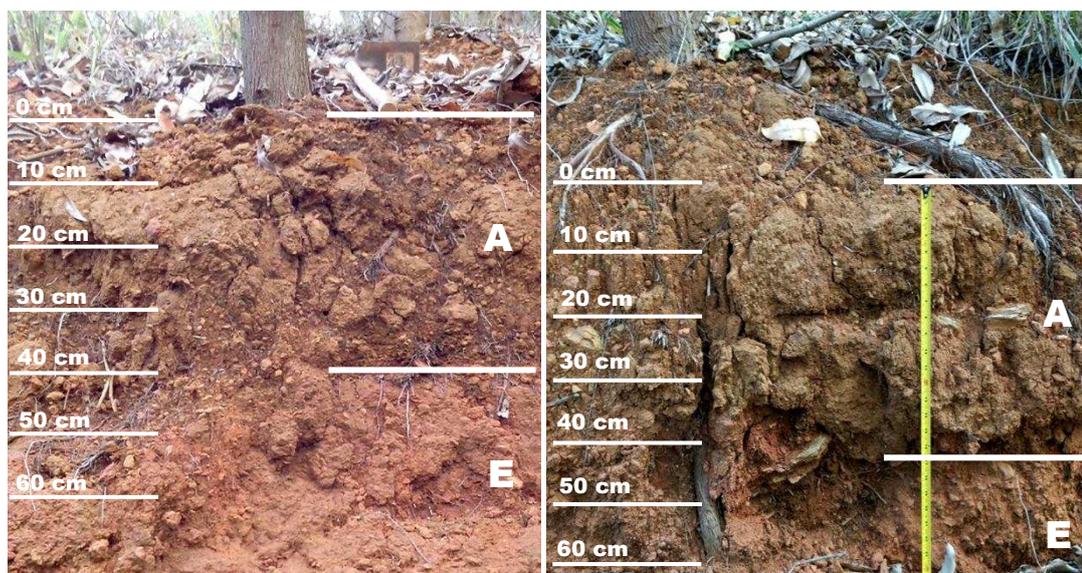


Figura 21. Corte no perfil do solo da área pós-lavra, indicando a profundidade do solo rico – *topsoil* (A) e do estéril – *saprolito* (E), e a presença de raízes finas e grossas do plantio, no município de Mirai, Minas Gerais, em maio de 2017.

Na Figura 22 é possível observar a grande quantidade de cascalhos presentes no perfil do top-soil e do estéril. A resistência mecânica à penetração quando a haste encontra um cascalho (minério de bauxita de baixo teor de Al_2O_3) aumenta consideravelmente quando comparado com um agregado de solo (torrão), que apresenta poros.



Figura 22. Corte no perfil do solo da área pós-lavra indicando a presença de cascalhos em todo o perfil: na superfície, no *top-soil* e no estéril. Município de Mirai, Minas Gerais, em maio de 2017.

3.5. Características Físico-Químicas do Solo

As características físicas e químicas dos solos dos dois tratamentos são apresentadas na Tabela 6.

Quando analisados os atributos químicos dos solos, nota-se uma melhoria na qualidade do solo após a mineração. A correção da acidez do solo foi satisfatória, zerando a acidez trocável (Al^{3+}), aumentando o pH do solo a níveis mais próximos à 5,5 e, principalmente, aumentando a oferta de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) para suprimento das plantas de eucalipto, além do aumento da disponibilidade de fósforo (P) pela adubação química. O aumento da concentração desses nutrientes é essencial para se alcançar uma boa produtividade do plantio. Isto indica que o processo de reabilitação da área atinge, em termos de fertilidade do solo, uma classificação de média a boa onde o solo antes da mineração é classificado como muito baixo a baixo para Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB e t e muito alta para (H + Al) (RIBEIRO et al., 1999).

Tabela 6. Características físicas e químicas das camadas de 0-10 cm e 10-20 cm dos solos nos dois tratamentos, nos municípios de Rosário da Limeira e Miraf, Minas Gerais, em janeiro de 2017

Características do solo	Área Pré-lavra		Área Pós-lavra	
	Camada (cm)			
	0-10	10-20	0-10	10-20
pH (H ₂ O)	4,90	4,88	5,02	5,35
P (mg.dm ⁻³)	1,4	1,3	2,0	1,9
K (mg.dm ⁻³)	15	13	8	6
Ca ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	0,11	0,07	1,31	1,59
Mg ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	0,09	0,07	0,99	1,19
Al ³⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	0,9	0,5	0	0
H + Al (cmol _c .dm ⁻³)	13,4	12,2	7,3	5,1
Soma de Bases – SB (cmol _c .dm ⁻³)	0,24	0,17	2,32	2,8
Capacidade de troca catiônica efetiva – t (cmol _c .dm ⁻³)	1,14	0,17	2,32	2,8
Capacidade de troca catiônica a pH 7,0 – T (cmol _c .dm ⁻³)	13,64	12,37	9,62	7,9
Índice de saturação por bases – V (%)	1,8	1,4	24,1	35,4
Índice de saturação por alumínio – m (%)	78,9	74,6	0	0
Matéria Orgânica – MO ⁽¹⁾ (dag.kg ⁻¹)	7,5	8,15	3,52	3,26
Fósforo remanescente – P-Rem (mg.L ⁻¹)	10,7	10,9	9,8	10,5
Areia grossa (dag.kg ⁻¹)	20	-	14	-
Areia fina (dag.kg ⁻¹)	17	-	11	-
Silte (dag.kg ⁻¹)	11	-	14	-
Argila (dag.kg ⁻¹)	52	-	61	-
Densidade do solo (kg.dm ⁻³)	0,87 **	-	1,23 **	-
Densidade de partículas (kg.dm ⁻³)	2,40 **	-	2,56 **	-
Macroporosidade (dm ³ .dm ⁻³)	0,35 ns	-	0,36 ns	-
Microporosidade (dm ³ .dm ⁻³)	0,31 ns	-	0,28 ns	-
Porosidade Total (dm ³ .dm ⁻³)	0,65 ns	-	0,65 ns	-

⁽¹⁾ MO = C.Org x 1,724 -Walkley-Black

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

ns não significativo

A diminuição da concentração de potássio (K) se deve a este nutriente, de grande mobilidade, estar mais concentrado na matéria orgânica do solo – MOS, que, por sua vez, está mais concentrada nas camadas mais superficiais do solo (Figura 20), e o processo de revolvimento de solo rico diminui sua concentração por diluição em um volume maior de solo, além de que, na área pós-lavra, o plantio exige maiores quantidades desse nutriente para seu metabolismo, diminuindo sua concentração no solo.

Ainda em relação à MOS, é observado que sua concentração é maior no solo da área pré-lavra. A primeira explicação é a mesma citada acima, em que o revolvimento do solo diminui sua concentração por misturá-la num volume maior de solo. Uma segunda explicação é a decomposição dessa MOS pelos microrganismos enquanto este solo está enleirado em pilhas durante a lavra e não existe aporte de mais Matéria Orgânica.

A estratégia utilizada pela empresa mineradora para contornar esse decréscimo no teor de MOS é o plantio e consórcio das forrageiras braquiária (*Brachiaria sp.*) e estilosantes cv. Campo Grande, que num primeiro momento protege o solo nu formando rapidamente uma cobertura de vegetação, diminuindo a geração de escoamento superficial e amenizando a temperatura superficial do solo, que evitará perdas de solo, água e matéria orgânica pela erosão e aceleração da decomposição da MOS. As forrageiras, num segundo momento, também serão fonte de matéria orgânica para o solo pelo aporte de matéria seca, aumentando a concentração de carbono orgânico e nitrogênio, dado que o estilosantes é uma fixadora de nitrogênio (BORGES, 2013; LOPES; BARROS, 2017a).

A importância das forrageiras na diminuição do escoamento superficial está na diminuição da energia das gotas de chuva que chegam ao solo e na criação de uma maior rugosidade na superfície do terreno, consistindo em barreiras naturais que diminuem a velocidade do escoamento da água na superfície do solo, além de que, o aporte de matéria orgânica no solo irá melhorar suas características físicas, químicas e ambientais, pela melhoria da estrutura do solo (maior coesão entre as partículas de solo, melhor porosidade e menor densidade do solo), pelo aumento da fertilidade que implicará em maior produtividade (maior produção de matéria seca) e pelo aumento da biodiversidade da meso e micro fauna do solo, que, pela construção de galerias, diminuem o escoamento superficial pelo aumento da drenagem.

A maior riqueza encontrada no solo da área pré-lavra é o seu teor de matéria orgânica – MO. É por esse teor muito bom de MO que o solo consegue manter uma produtividade, mesmo que limitada, do plantio de eucalipto, pois é nela que estão retidos (adsorvidos) os nutrientes devido as suas cargas elétricas, o que pode ser observado no grande valor da CTC a pH 7,0 (T) (quando todas as cargas do solo

estão livres) sendo, inclusive, maiores que a do solo da área pós-lavra que teve sua acidez corrigida pela calagem (PACHECO; PETTER, 2011; PETTER et al., 2013).

A textura dos solos das duas áreas apresenta diferença na classe textural, sendo a área pré-lavra pertencente a classe textural Argila, enquanto o maior teor de argila e menores de areia classificam o solo da área pós-lavra como classe textural Muito Argilosa, pelo Sistema Norte Americano, desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Esta diferença na textura dos dois solos não se deve ao processo de lavra, pois é uma das características físicas mais estáveis (FERREIRA, 2010) sendo devida à natureza da rocha de origem e ao ambiente.

Assim como a textura, a densidade de partícula (d_p) é um atributo muito estável do solo, e o seu valor é exclusivamente relacionado com a composição das partículas sólidas (textura) (FERREIRA, 2010), ou seja, a diferença significativa encontrada entre a d_p dos dois tratamentos se deve a diferença existente na textura, que não é influenciada pela mineração de bauxita, pois são atributos físicos muito estáveis e a reabilitação utiliza o *top-soil* da própria área.

Quanto à densidade do solo (d_s) também foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos, indicando que houve alteração desse atributo pelas atividades de lavra, reconformação e reabilitação, fato que também foi observado por Borges (2013) para esta mesma atividade mineraria, nesta mesma região. A maior d_s na área pós-lavra é explicada pelo intenso revolvimento do *top-soil*, pois sendo este atributo físico o reflexo do arranjo das partículas no solo, qualquer alteração mecânica na estrutura do solo irá acarretar em aumento ou diminuição da sua densidade (FERREIRA, 2010).

A estrutura do solo é definida como o arranjo das partículas do solo e do espaço poroso entre elas, formando agregados maiores (MARSHALL, 1962 *apud* FERREIRA, 2010; KLEN, 2014). Os agregados para um LVA distrófico é descrito como de macroestrutura pequena, em formato de blocos subangulares (FERREIRA et al., 1999). Esta macroestrutura é alterada pelo revolvimneto do *top-soil*, no entanto, a micro e mesoestrutura do solo não é alterada, reflexo disso é a não significância da microporosidade, macroporosidade e porosidade total (PT) entre os tratamentos.

Os microporos são responsáveis pela retenção e armazenamento de água no solo, consistindo naquele espaço formado da cimentação entre partículas, agindo como capilares, e os macroporos são responsáveis pela infiltração e depleção da água e aeração do solo, e consiste naquele espaço formado entre os microagregados (FERREIRA, 2010).

A importância do plantio de eucalipto está no favorecimento ao retorno dessa macroestrutura do solo, pois o solo fica dedicado ao plantio por no mínimo 5 a 7 anos até o primeiro corte das árvores. As árvores nesse período, além de estarem contribuindo para o aporte de MO pela serrapilheira que auxilia na cimentação das partículas, suas raízes geram pressão nos meso e microagregados do solo e também exudam polímeros orgânicos, auxiliando na estabilização dos agregados (FERREIRA et al., 1999; JOHN et al., 2005; MARQUES et al., 2015).

Solos mais bem estruturados apresentam menores valores de escoamento superficial, diminuindo as perdas de solo, água, nutrientes e microrganismos, por propiciarem maior aeração, infiltração da água e menor susceptibilidade à erosão (Abiven et al., 2009; SANTOS et al., 2012; BORGES, 2013). O solo da área pré-lavra apresenta-se mais bem estruturado, uma vez que não sofreu grandes revolvimentos como o solo da área pós-lavra, porém, em termos de infiltração (item 3.3), não foi observada diferença significativas e nem em termos de aeração, pois não foi observada diferença significativa na macroporosidade.

3.6. Precipitação e Escoamento Superficial

No período de avaliação foram realizadas 34 observações para a área pré-lavra e 46 observações para a área pós-lavra. O número de observações diferentes se deve a dificuldades de acesso na área pré-lavra após chuvas de grande volume e, ou, alta intensidade, dado que o acesso se dava por dentro de frente de lavra, ficando esse intransitável mesmo que a pé. Outra questão é que a coleta de dados na área pré-lavra teve início 24 dias após a da área pós-lavra, sendo realizadas quatro observações a mais para a pós-lavra neste período, em virtude do tempo dispensado para a construção das parcelas.

Cada observação consistiu da coleta dos volumes de precipitação em aberto (Pa), precipitação interna do plantio (Pi) e de escoamento superficial (ES) gerado ou

não após as chuvas. A precipitação em aberto foi a referência para os demais cálculos, pois considerou este processo hidrológico como sendo a entrada de água no sistema, e os demais processos, precipitação interna (Pi) e escoamento superficial (ES), como fração dessa água que aporta no sistema. As medições da Pi tiveram início somente no quinto mês de avaliação (fev/17).

A precipitação em aberto (Pa) consiste em toda forma de água que atinge a superfície terrestre, proveniente do meio atmosférico (BERTONI; TUCCI, 2001), e a precipitação interna (Pi) consiste nas gotas de água de chuva que atravessam o dossel das árvores e chegam ao solo, sejam de maneira direta ou por respingos (CARVALHO, 2011).

Pela

Tabela 7, que mostra as observações mensais, nota-se que a Pa em ambos os tratamentos aproximam-se em termos de altura de lâmina, mostrando um regime de chuva equivalente, totalizando, até o dia 31/05/2017, 1.170 mm para a área pré-lavra e 1.193 mm para a área pós-lavra.

Tabela 7. Valores mensais para os dois tratamentos, no período de avaliação, para a Normal Climatológica (NC) da precipitação acumulada para a região, e as observações médias mensais acumuladas da Precipitação em Aberto (Pa) em milímetros, Precipitação Interna (Pi) em milímetros, Interceptação (I) em percentagem e Escoamento Superficial (ES) em milímetros e percentual, para os municípios de Rosário da Limeira e Miraí, Minas Gerais, respectivamente, no período de outubro de 2016 a maio de 2017

Mês	NC* (mm)	Tratamentos									
		Área Pré-mineração					Área Em Reabilitação				
		Pa (mm)	Pi (mm)	I (%)	ES (mm)	ES (%)	Pa (mm)	Pi (mm)	I (%)	ES (mm)	ES (%)
out/16	103	19	-	-	0,02	0,11	35	-	-	0,00	0,00
nov/16	202	273	-	-	0,92	0,34	209	-	-	0,08	0,04
dez/16	216	321	-	-	2,09	0,65	489	-	-	3,98	0,81
jan/17	186	34	-	-	0,35	1,04	30	-	-	0,02	0,05
fev/17	188	168	93	44,8	1,41	0,84	121	82	32,3	0,82	0,68
mar/17	115	161	165	-2,5	1,30	0,80	126	87	30,9	0,12	0,09
abr/17	46	80	71	10,9	1,47	1,85	48	32	32,4	0,02	0,04
mai/17	28	113	121	-6,9	1,77	1,56	135	62	54,2	0,23	0,17

* Normal climatológica 1961-1990 para o município de Cataguases/MG (INMET, 2017).

Antes de tudo, chama-se atenção à Pi dos dois tratamentos, em que é encontrada expressiva diferença em seus valores, sendo a Pi da área pré-lavra cerca

de 41,44% maior que a Pi da área pós-lavra, em média. Esta diferença entre os tratamentos se deve a menor área de copa e pelo grande número de falhas do plantio da área pré-lavra, que reduz significativamente a interceptação das gotas de chuva pelo dossel das árvores, gerando um aumento da Pi (TUCCI, 2001; LIMA, 2008).

Outro dado importante quanto à Pi da área pré-lavra é a observação de uma altura de lâmina maior nos meses de março e maio de 2017 (mar/17; mai/17) em comparação à Pa, sendo 2,5% e 6,9% maiores, respectivamente. Isto se deu devido à ocorrência de chuvas com ventanias que, somado com os 31% de falhas e o maior número de árvore com diâmetro menor que 10 cm que se agitam com mais facilidade com o vento, fez com que as gotas de chuvas interceptadas pelo dossel fossem respingadas, aumentando o volume de água de chuva coletado pelos quatro pluviômetros internos. Wigham (1970) citado por Tucci (2001) reforça esta dinâmica, dizendo que “*a intensidade do vento é o fator climático mais significativo na interceptação*”, pois sua maior intensidade reduz as forças de adesão da água na superfície das folhas, fazendo-a gotejar (LIMA, 2008). Fato semelhante também foi observado por Freitas et al. (2016), no entanto, estas diferenças poderiam ter sido amenizadas se tivesse sido utilizado de 6 a 8 pluviômetros internos a mais para cada tratamento (LIMA, 2008).

Em média, a interceptação (I) foi 11,6% e 37,4% para a área pré-lavra e pós-lavra, respectivamente, levando em consideração apenas a diferença existente entre a Pa e Pi, pois não foi mensurado o escoamento pelo tronco.

Quanto às observações da precipitação em aberto (Pa), as normais climatológicas da precipitação mensal acumulada (NC) são a base para verificar se o acumulado de chuvas observado no período de estudo foi superior ou inferior ao registrado durante trinta anos na estação meteorológica de superfície do INMET, em Cataguases – MG (

Tabela 7). Verificou-se que os meses de outubro de 2016 (out/16) e janeiro de 2017 (jan/17) ficaram abaixo da normal, os meses de dezembro de 2016 (dez/16) e maio de 2017 (mai/17) ficaram acima da normal e os demais meses flutuaram com valores próximos à normal. Estas diferenças são mais bem percebidas no gráfico a seguir (Figura 23).

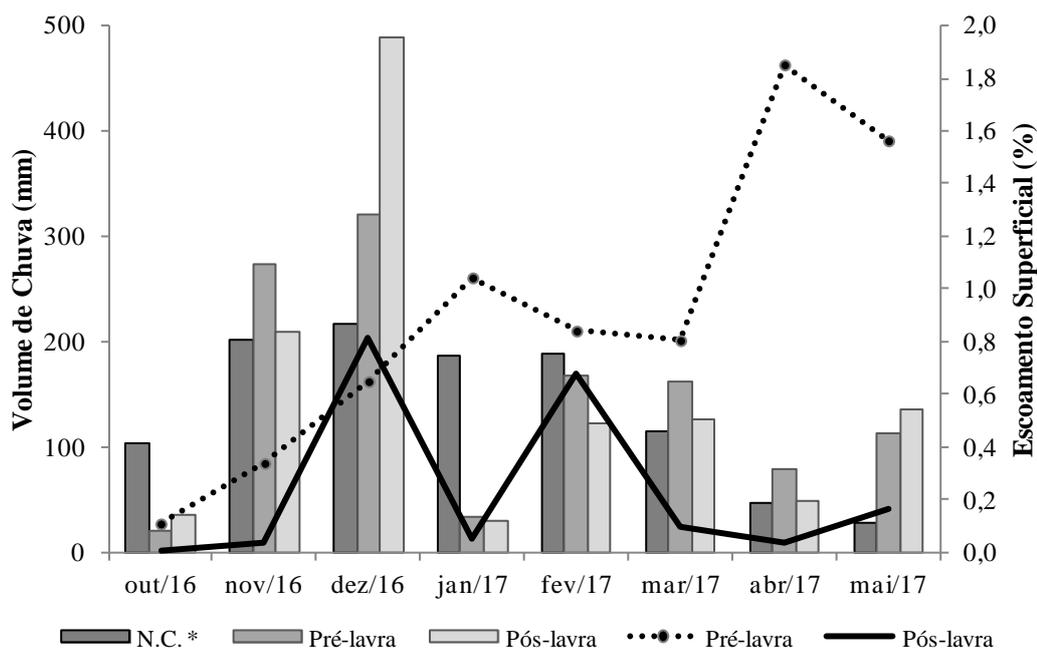


Figura 23. Acumulados mensais para precipitação em aberto (Pa) e escoamento superficial (ES), para ambos os tratamentos – pré e pós-lavra, nos municípios de Rosário da Limeira e Mirai, Minas Gerais, respectivamente, no período de outubro de 2016 a maio de 2017. Sendo as barras a precipitação mensal acumulada, onde: N.C. é a normal climatológica; Pré-lavra é o tratamento da área pré-lavra; e Pós-lavra é o tratamento da área pós-lavra; e as linhas representam escoamento superficial mensal acumulado, sendo a linha pontilhada o tratamento da área pré-lavra e a linha contínua o tratamento da área pós-lavra. * Normal climatológica 1961-1990 para o município do Cataguases - MG (INMET, 2017).

Houve também diferença da Pa entre os tratamentos, sendo que: no mês de dezembro de 2016 (dez/16) caiu uma chuva de grande intensidade, na área pós-lavra, durante a madrugada do dia 12, totalizando 116 mm, gerando, inclusive, queda de barreiras e taludes de aterro nos distritos de Santo Antônio do Rio Preto e Dores da Vitória, ambos os distritos pertencentes à Mirai – MG, e no município de São Sebastião da Vargem Alegre – MG; no mês de abril de 2017 (abr/17), evento similar ocorreu dia 08 para a área pré-lavra, caindo uma chuva de $7,98 \text{ mm.h}^{-1}$ de intensidade, totalizando 74,48 mm. Nos demais meses, em novembro de 2016 (nov/16), fevereiro e março de 2017 (fev/17; mar/17), foi observado uma pequena diferença entre os tratamentos, sendo registrado um volume maior para a área pré-lavra.

Os fatores que influenciam o escoamento superficial (ES) são muito diversos, dentre eles citam-se: a intensidade, duração e distribuição temporal e espacial da precipitação; o tipo, teor de água, grau de compactação, a textura e a drenagem do solo; a interceptação e composição da cobertura vegetal, tal como a evapotranspiração, além da declividade, rugosidade e do sistema de preparo do terreno (MOLCHANOV, 1963; SCHICK et al., 2000; PRUSKI et al., 2004; LIMA, 2008).

Quanto aos fatores climáticos, as diferenças mensais do acumulado de chuvas para os tratamentos podem contribuir para a geração de maior ou menor altura de lâmina de ES, principalmente se o maior valor de Pa acumulado for em virtude de uma chuva de alta intensidade. Os fatores fisiográficos foram controlados, instalando as parcelas em uma mesma faixa de declividade (10 a 15,5 graus), altitudes semelhantes e posição semelhante no terreno.

Pela Figura 23 é possível verificar que o ES na área pré-lavra foi maior em todos os meses, com exceção do mês de dezembro de 2016 (dez/16), isso em virtude de uma chuva de alta intensidade que ocorreu na área pós-lavra (como foi apresentado anteriormente). Nos demais meses, o discutido nos itens anteriores pode explicar o maior valor de ES para a área pré-lavra, como: a menor interceptação em virtude do número de falhas e heterogeneidade do plantio, preparo do solo a morro-abaixo e, principalmente, a hidrofobicidade do solo.

Este último fator ajuda a explicar porque nos meses de novembro e dezembro de 2016 (nov/16; dez/16) o escoamento superficial, para este tratamento, foi menor (0,34% e 0,65%), pois em função das chuvas mais frequentes e menos intensas a matéria orgânica se encontrava hidratada e não oferecia resistência à infiltração. Ao contrário, nos meses de março, abril e maio de 2017 (mar/17; abr/17; mai/17) as chuvas mais espaçadas, que permitiam a desidratação da matéria orgânica e o ganho da hidrofobicidade por elas, e também a ocorrência de chuvas intensas geraram um escoamento superficial mais pronunciado (0,805%, 1,853% e 1,834%) em virtude da barreira gerada à infiltração da água pela hidrofobicidade do solo.

Os dados de escoamento superficial (ES) foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para confirmar estatisticamente a diferença gráfica apresentada (Figura 23). A Tabela 8 apresenta os dados do ES gerados para cada tratamento em

cada repetição (PCES), expressos em médias das observações, dos quais foi realizada a ANOVA.

Tabela 8. Médias percentuais das observações (eventos de chuva) dos escoamentos superficiais em cada repetição para cada tratamento, pré e pós-lavra, para a realização da análise de variância. Municípios de Rosário da Limeira e Mirai, Minas Gerais, no período de outubro de 2016 a maio de 2017

Repetições	Tratamentos	
	Pré-lavra	Pós-lavra
1	0,67	0,11
2	0,32	0,05
3	0,58	0,06
4	0,73	0,40
5	0,27	0,29
6	0,44	0,24
7	0,89	0,07
Soma	3,90	1,22
Média	0,56	0,17
CV (%)	40,17	77,35

Nota-se que, em média, nenhum tratamento ultrapassou 1% de escoamento superficial no período de outubro de 2016 a maio de 2017, ficando em 0,56% para a área pré-lavra e 0,17% para a área pós-lavra. Estes valores de escoamento superficial são expressivamente menores que aqueles encontrados nas demais culturas agrônômicas anuais, em função da cobertura do solo formado pelo dossel, pela deposição da serrapilheira e do preparo do solo, que é mais intenso para as culturas anuais e mínimo para os plantios de espécies arbóreas.

Bertol et al. (2008) verificaram que as culturas anuais, milho, feijão e soja, em suas distintas coberturas foliares e estrutura fisionômica, submetidas à diferentes preparos do solo, geraram diversos valores de escoamento superficial em um Nitossolo Háplico, sendo eles: 5 a 31% de escoamento superficial para cultura de milho com semeadura direta tradicional e semeadura direta com queima do resíduo, respectivamente; 7 a 34% de escoamento superficial para cultura do feijão com semeadura direta tradicional e preparo convencional, respectivamente; e para a cultura da soja 24% de escoamento superficial com plantio convencional e semeadura direta tradicional e 34% com semeadura direta com queima do resíduo. Quanto aos diferentes tipos de preparo do solo, a semeadura direta tradicional foi a que apresentou menor valor de escoamento superficial (12%), seguida de maneira

crescente pelo preparo convencional (25%), semeadura direta em resíduo dessecado (28%), semeadura direta em resíduo queimado (32%) e solo sem cultivo (43%).

Schick et al. (2000) também verificaram uma redução nas perdas de água conforme um preparo do solo mais conservacionista, encontrando reduções de 67, 61 e 27% para semeadura direta, escarificação mais gradagem e aração mais duas gradagens, respectivamente, em relação ao solo sem cultura e com preparo convencional (aração mais duas gradagens), em Cambissolo Húmico alumínico.

A análise de variância (ANOVA) indicou diferença estatística entre os escoamentos superficiais dos dois tratamentos (Figura 24), ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, chegando a uma diferença de 67,45% entre eles. O teste F é conclusivo.

Portanto, pelo apresentado, a área pós-lavra apresentou menor geração de escoamento superficial em comparação com a área pré-lavra, fazendo com que a hipótese seja rejeitada, ou seja, foi verificado que o escoamento superficial na área pós-lavra é menor do que o escoamento superficial na área ainda não minerada (pré-lavra).

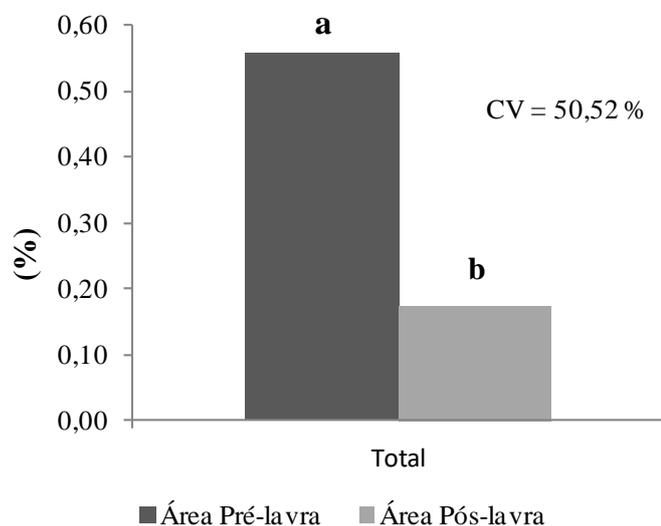


Figura 24. Média percentual do escoamento superficial para os dois tratamentos, pré e pós-lavra, nos municípios de Rosário da Limeira e Miraf, Minas Gerais, respectivamente, no período de outubro de 2016 a maio de 2017. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F.

Este resultado pode ser explicado pelas diferenças na tecnologia aplicada pelo superficiário em seu plantio e pela empresa mineradora na fase de reabilitação da

área. Porém, para verificar separadamente a relação dos fatores estudados na caracterização dos ambientes quanto à geração de ES faz-se necessário uma análise descritiva.

3.7. Análise Descritiva dos Parâmetros dos Tratamentos

Observada a diferença entre os tratamentos pré e pós-lavra, procurou analisar separadamente, para cada ambiente, quais fatores estão mais associados com a geração ou a redução de escoamento superficial e também quais estão mais associados entre si.

Foi gerada, para cada tratamento, uma matriz de correlação que mostra o valor de Pearson aplicado a cada um dos possíveis pares de fatores (variáveis) discutidos. Foram eleitos aqueles fatores que poderiam influenciar no ES tal como discutido anteriormente (MOLCHANOV, 1963; PRUSKI et al., 2004; LIMA, 2008). E para verificar a associação entre estes fatores eleitos, realizou a análise de componentes principais – PCA, utilizando o software R v.3.3.3 (R CORE TEAM, 2017), onde excluiu o ES da análise.

3.7.1. Área Pré-lavra

A seguir é apresentada a matriz correlação para a área pré-lavra (Tabela 9).

Pela matriz de correlação foi observado uma correlação positiva moderada entre o ES e a Pa e Pi (Figura 25A1 e A2), sendo a correlação com a Pi maior (0,66) que a correlação com a Pa (0,61). Isto mostra que, realmente, a menor interceptação da chuva pelo dossel do plantio (maior Pi) tem uma contribuição positivamente para a geração de um maior ES. Houve, também, uma correlação positiva baixa entre o ES e as Observações (0,23) (Figura 25A3), mostrando que existe uma variação na geração de ES nesta área, sendo menor no início da estação chuvosa (primavera) e maior no final do verão e meados de outono. Isto é explicado pela menor velocidade de infiltração inicial ($VI_{inicial}$) proporcionada pela hidrofobicidade do solo. As demais correlações com o ES foram de muito baixa à nula. Nota-se também que em precipitações abaixo de 10 mm o ES na área pré-lavra é muito baixo, tendendo à nulidade.

Tabela 9. Matriz correlação de Pearson para cada par de fatores estudados na área pré-lavra, sendo na sequencia: escoamento superficial (ES), precipitação em aberto (Pa), precipitação interna (Pi), parcelas coletoras de escoamento superficial (PCES), observações, Inclinação, velocidade de infiltração inicial (VII), velocidade de infiltração básica (VIB), capacidade de infiltração (CI), área basal (AB), área de copa (Acopa), capacidade de retenção de água na serrapilheira (CRAS), resistência mecânica do solo à penetração média nos 20 cm superficiais (RMSP 20cm), profundidade máxima média da análise de RMSP (Prof.max.), matéria orgânica (MO), densidade do solo (Ds), densidade das partículas de solo (Dp), porosidade total (PT), macroporosidade (macro) e microporosidade (micro). Município de Rosário da Limeira, Minas Gerais, em 2017

	ES	Pa	Pi	PCES	Observação	Inclinação	VII	VIB	CI	AB	Acopa	CRAS	RMSP 20cm	Prof.max.	MO	Ds	Dp	PT	Macro	Micro
ES	1	0,61	0,66	0,01	0,23	0,01	0,04	0,03	0,04	-0,02	-0,03	-0,04	0,03	0,03	0,00	0,01	0,03	-0,02	-0,04	-0,04
Pa	0,61	1	0,99	0,00	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pi	0,66	0,99	1	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PCES	0,01	0,00	0,00	1	0,00	0,50	0,84	0,07	0,45	0,08	-0,06	-0,54	0,94	0,94	0,00	0,66	0,93	-0,79	-0,43	-0,43
Observação	0,23	-0,03	0,02	0,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inclinação	0,01	0,00	0,00	0,50	0,00	1	0,21	-0,05	0,07	0,09	0,05	-0,10	0,27	0,27	0,00	0,24	0,28	-0,27	-0,06	-0,06
VII	0,04	0,00	0,00	0,84	0,00	0,21	1	0,52	0,82	-0,38	-0,51	-0,88	0,89	0,89	0,00	0,29	0,79	-0,50	-0,81	-0,81
VIB	0,03	0,00	0,00	0,07	0,00	-0,05	0,52	1	0,91	-0,99	-1,00	-0,86	0,08	0,08	0,00	-0,67	-0,11	0,48	-0,92	-0,92
CI	0,04	0,00	0,00	0,45	0,00	0,07	0,82	0,91	1	-0,83	-0,91	-0,99	0,48	0,48	0,00	-0,30	0,30	0,08	-1,00	-1,00
AB	-0,02	0,00	0,00	0,08	0,00	0,09	-0,38	-0,99	-0,83	1	0,99	0,77	0,08	0,08	0,00	0,78	0,27	-0,62	0,85	0,85
Acopa	-0,03	0,00	0,00	-0,06	0,00	0,05	-0,51	-1,00	-0,91	0,99	1	0,86	-0,07	-0,07	0,00	0,67	0,12	-0,49	0,92	0,92
CRAS	-0,04	0,00	0,00	-0,54	0,00	-0,10	-0,88	-0,86	-0,99	0,77	0,86	1	-0,57	-0,57	0,00	0,19	-0,41	0,03	0,99	0,99
RMSP 20cm	0,03	0,00	0,00	0,94	0,00	0,27	0,89	0,08	0,48	0,08	-0,07	-0,57	1	1,00	0,00	0,69	0,98	-0,83	-0,46	-0,46
Prof.max.	0,03	0,00	0,00	0,94	0,00	0,27	0,89	0,08	0,48	0,08	-0,07	-0,57	1,00	1	0,00	0,69	0,98	-0,83	-0,46	-0,46
MO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ds	0,01	0,00	0,00	0,66	0,00	0,24	0,29	-0,67	-0,30	0,78	0,67	0,19	0,69	0,69	0,00	1	0,82	-0,97	0,33	0,33
Dp	0,03	0,00	0,00	0,93	0,00	0,28	0,79	-0,11	0,30	0,27	0,12	-0,41	0,98	0,98	0,00	0,82	1	-0,93	-0,28	-0,28
PT	-0,02	0,00	0,00	-0,79	0,00	-0,27	-0,50	0,48	0,08	-0,62	-0,49	0,03	-0,83	-0,83	0,00	-0,97	-0,93	1	-0,11	-0,11
Macro	-0,04	0,00	0,00	-0,43	0,00	-0,06	-0,81	-0,92	-1,00	0,85	0,92	0,99	-0,46	-0,46	0,00	0,33	-0,28	-0,11	1	1,00
Micro	-0,04	0,00	0,00	-0,43	0,00	-0,06	-0,81	-0,92	-1,00	0,85	0,92	0,99	-0,46	-0,46	0,00	0,33	-0,28	-0,11	1,00	1

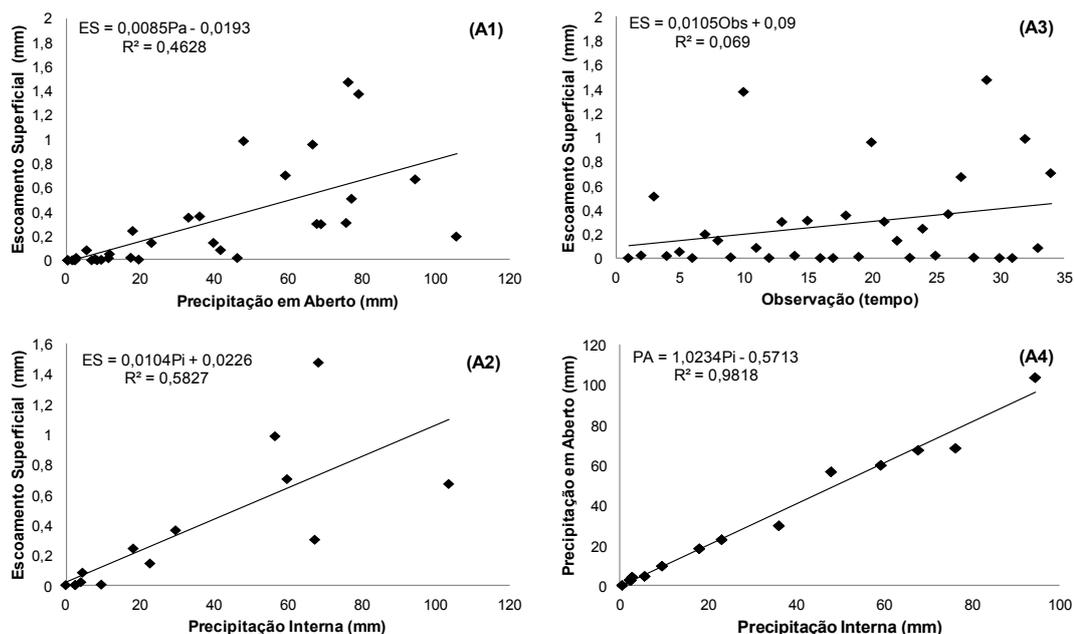


Figura 25. Relação do escoamento superficial (mm) com a precipitação em aberto (mm) (A1), com a precipitação interna (mm) (A2), com as observações (tempo) (A3) e a relação entre a precipitação em aberto (mm) e a precipitação interna (mm) (A4), para a área pré-lavra, no município de Rosário da Limeira, Minas Gerais, em 2016-2017.

Quando feita a PCA para verificar a associação dos fatores entre si verificou a formação de quatro grandes grupos de autovetores (Figura 26), enumerados da seguinte maneira: 1) Pa, Pi, Observ., MO e Inclín.; 2) CRAS, Micro, Macro, AB, Acopa, Ds; 3) CI e VIB; e 4) Dp, PCES, Prof.max., RMS.P.20cm, VII. O eixo X explicou 42,14% dos dados e o eixo Y explicou 31,67% dos dados, totalizando 73,81%.

Foi encontrada uma correlação positiva muito alta entre a Pa e Pi, mostrando uma grande influência da Pa na Pi (Figura 25A4). A matéria orgânica (MO) não apresentou correlação com nenhuma outra variável, devido seu valor ser único para todo o tratamento, dado à sua amostragem composta, ou seja, uma amostra composta (= um único valor) de 10 a 12 amostras simples.

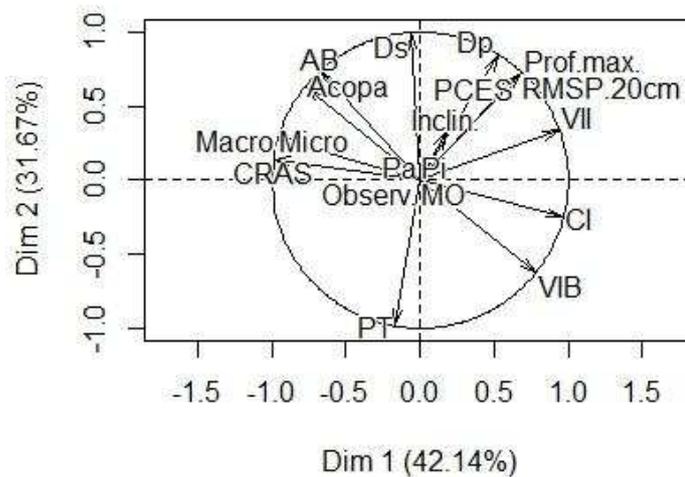


Figura 26. Mapa dos autovetores dos fatores analisados na PCA para a área pré-lavra, no município de Rosário da Limeira, Minas Gerais, em 2016-2017, sendo precipitação em aberto (Pa), precipitação interna (Pi), parcelas coletoras de escoamento superficial (PCES), observações (Observ.), Inclinação (Inclin.), velocidade de infiltração inicial (VII), velocidade de infiltração básica (VIB), capacidade de infiltração (CI), área basal (AB), área de copa (Acopa), capacidade de retenção de água na serrapilheira (CRAS), resistência mecânica do solo à penetração média nos 20 cm superficiais (RMS.P.20cm), profundidade máxima média da análise de RMS.P (Prof.max.), matéria orgânica (MO), densidade do solo (Ds), densidade das partículas de solo (Dp), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro). Adaptado do software R.

Foi observada uma correlação positiva muito alta entre a área basal e a área de copa projetada (0,99) (Tabela 9), indicando uma forte associação entre uma variável e outra. Uma correlação negativa baixa a muito alta foi observada entre esse par de fatores do plantio, área basal e área de copa, e os fatores de infiltração, $VI_{inicial}$, VI_{basal} e fc (Figura 27). Isto demonstra que o aumento da cobertura foliar reduz a velocidade de infiltração em virtude do aumento da interceptação.

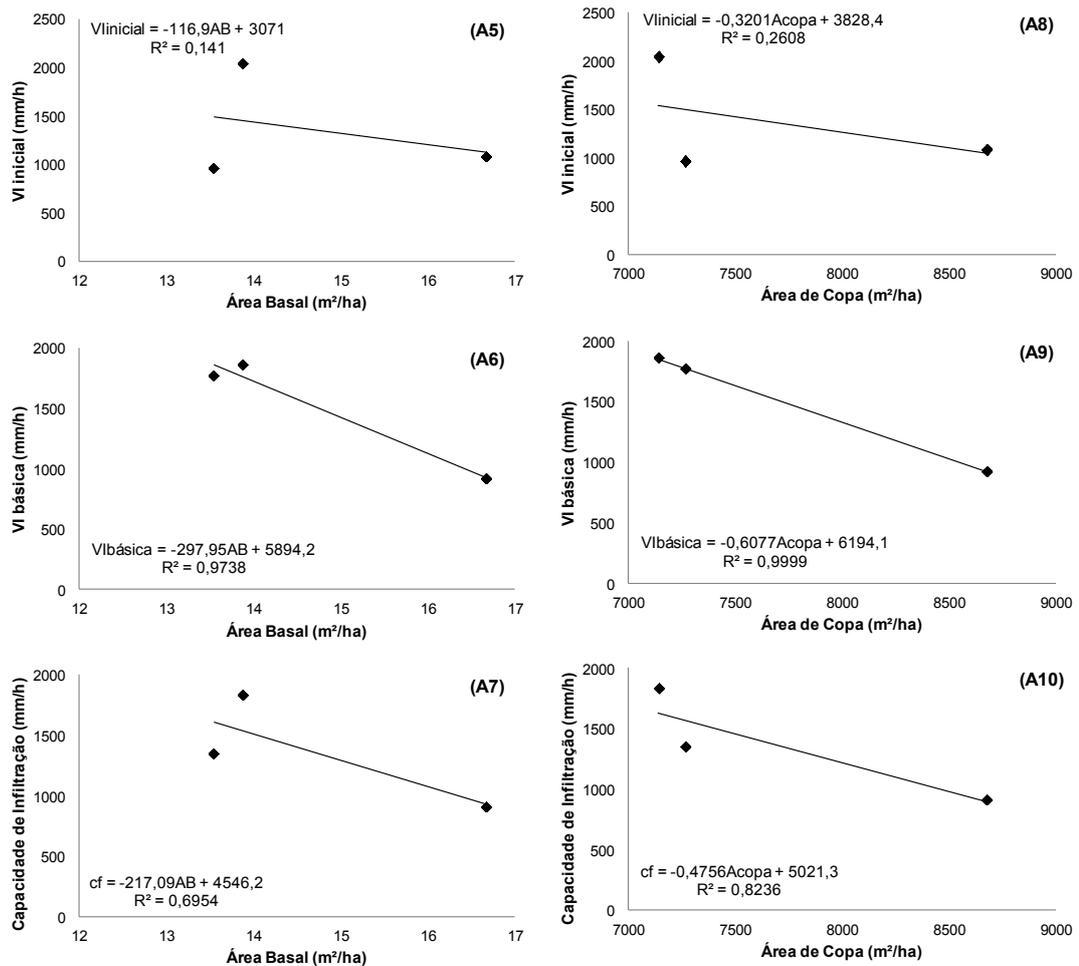


Figura 27. Relação da área basal com a $VI_{inicial}$ (A5), $VI_{básica}$ (A6) e cf (A7) e da área de copa projetada com a $VI_{inicial}$ (A8), $VI_{básica}$ (A9) e cf (A10), para a área pré-lavra, no município de Rosário da Limeira, Minas Gerais, em 2016-2017.

De igual maneira, a capacidade de retenção de água na serrapilheira (CRAS) apresentou correlação negativa alta com a $VI_{inicial}$ (-0,88) e VI_{basal} (-0,86) e correlação negativa muito alta com a capacidade de infiltração (-0,99), indicando que a infiltração máxima diminui a medida que a capacidade da serrapilheira em reter água aumenta (Figura 28). Este fato é importante na ocorrência de chuvas em que a sua intensidade é maior que a capacidade do solo em infiltrar aquela água, ficando esta retida na serrapilheira, que disponibilizará esta água de maneira mais lenta ao solo, reduzindo, portanto, também o escoamento superficial.

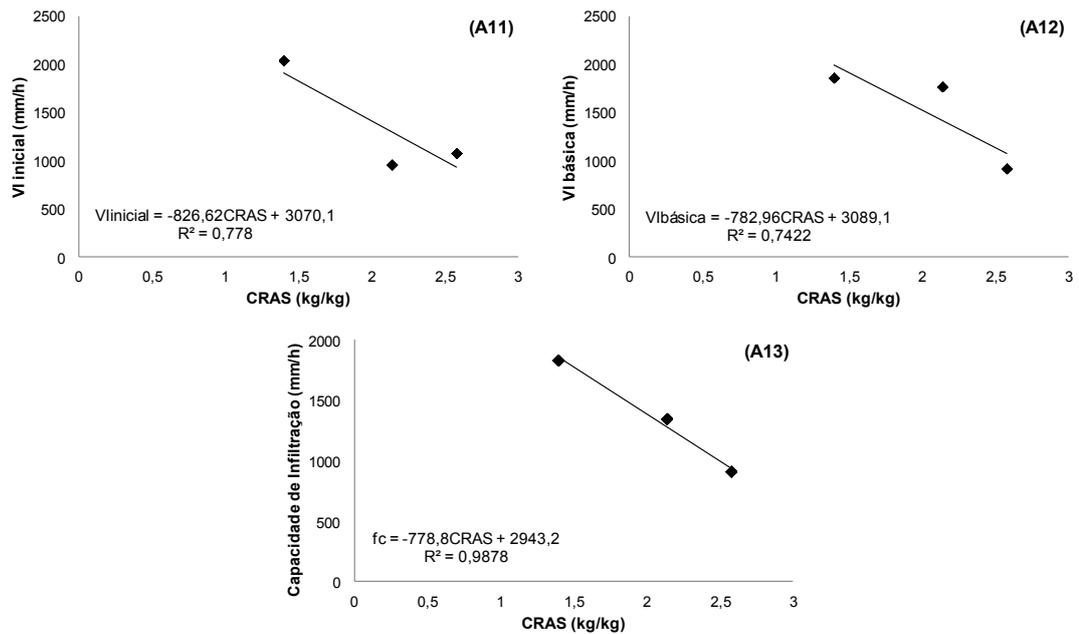


Figura 28. Relação da capacidade de retenção de água da serrapilheira (CRAS) com a $VI_{inicial}$ (A11), $VI_{básica}$ (A12) e fc (A13), para a área pré-lavra, no município de Rosário da Limeira, Minas Gerais, em 2016-2017.

Não foi observada correlação (correlação nula) entre a $VI_{inicial}$ (VII) e a matéria orgânica (MO) em virtude da análise química ter sido feita com amostra composta, ou seja, não foi possível com um dado de análise encontrar correlação entre eles, de forma a validar também estatisticamente o discutido anteriormente, além da revisão bibliográfica.

Quanto aos atributos físicos do solo, foi observado que o aumento na densidade do solo (D_s) aumenta a sua resistência mecânica à penetração (RMSP), dado a correlação positiva moderada (0,69). O aumento na D_s também está relacionado ao decréscimo de sua porosidade total (PT), com correlação negativa muito alta (-0,97). De igual natureza, o aumento da PT gera uma queda na RMSP, dado a correlação negativa alta entre este par de variáveis (-0,83). Portanto, o aumento da RMSP e a diminuição da PT indica maiores valores de ES quando a D_s aumenta para estas condições ambientais e culturais da área pré-lavra (Figura 29).

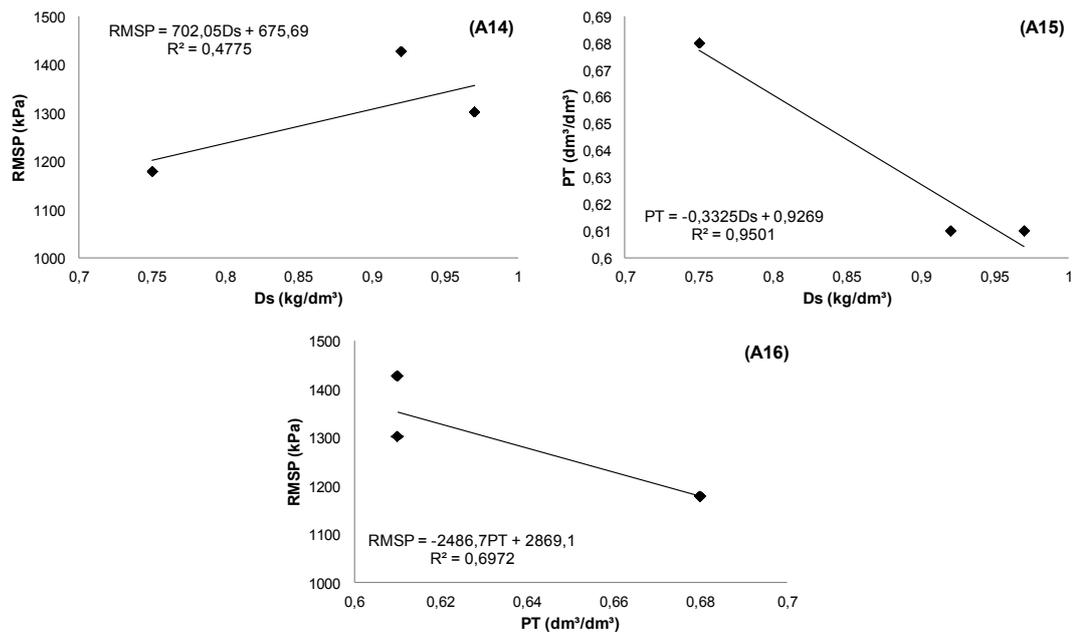


Figura 29. Relação da densidade do solo (Ds) com a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) (A14) e com a porosidade total (PT) (A15), e a relação entre a porosidade total (PT) e a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) (A16), para a área pré-lavra, no município de Rosário da Limeira, Minas Gerais, em 2016-2017.

Não considerou as demais correlações existentes dadas seus valores muito baixos ou nulos e, também, quando a correlação existente entre dois pares de fatores não foi possível de ser explicada em razão de sua relação não ser estudada com profundidade neste trabalho.

3.7.2. Área Pós-lavra

A matriz de correlação para os fatores da área pós-lavra é apresentada a seguir (Tabela 10).

Tal como para o tratamento da área pré-lavra, o ES na área pós-lavra teve correlação positiva com a Pa e Pi, sendo moderada com a Pa (0,68) e baixa com a Pi (0,39), demonstrando que o fator que mais contribui para a geração de ES são as chuvas, sendo, no presente caso, a Pa com uma correlação maior (Figura 30). É importante notar que nas precipitações abaixo de 20 mm o ES gerado é praticamente nulo na área pós-lavra.

Não houve grandes diferenças do ES no decorrer do tempo (Observação), como houve para a área pré-lavra, sendo esta correlação nula e muito baixa (-0,03).

Tabela 10. Matriz correlação de Pearson para cada par de fatores estudados na área pós-lavra, sendo na sequencia: escoamento superficial (ES), precipitação em aberto (Pa), precipitação interna (Pi), parcelas coletoras de escoamento superficial (PCES), observações, Inclinação, velocidade de infiltração inicial (VII), velocidade de infiltração básica (VIB), capacidade de infiltração (CI), área basal (AB), área de copa (Acopa), capacidade de retenção de água na serrapilheira (CRAS), resistência mecânica do solo à penetração média nos 20 cm superficiais (RMSP 20cm), profundidade máxima média da análise de RMSP (Prof.max.), matéria orgânica (MO), densidade do solo (Ds), densidade das partículas de solo (Dp), porosidade total (PT), macroporosidade (macro) e microporosidade (micro). Município de Mirai, Minas Gerais, em 2016-2017.

	ES	Pa	Pi	PCES	Observação	Inclinação	VII	VIB	CI	AB	Acopa	CRAS	RMSP 20cm	Prof.max.	MO	Ds	Dp	PT	Macro	Micro
ES	1	0,68	0,39	0,06	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03	0,03	-0,03	-0,01	0,02	0,00	-0,01	0,03	-0,02	0,03	0,04
Pa	0,68	1	0,80	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pi	0,39	0,80	1	0,00	-0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PCES	0,06	0,00	0,00	1	0,00	0,85	0,82	0,73	0,79	-0,84	-0,14	-0,14	0,63	-0,43	0,00	0,63	0,85	-0,89	0,76	0,50
Observação	-0,03	0,10	-0,09	0,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inclinação	0,00	0,00	0,00	0,85	0,00	1	0,82	0,74	0,79	-0,80	-0,18	-0,09	0,65	-0,46	0,00	0,65	0,82	-0,87	0,72	0,45
VII	0,00	0,00	0,00	0,82	0,00	0,82	1	0,98	1,00	-0,70	-0,55	0,27	0,93	-0,80	0,00	0,93	0,73	-0,88	0,55	0,16
VIB	0,00	0,00	0,00	0,73	0,00	0,74	0,98	1	0,99	-0,54	-0,70	0,46	0,99	-0,91	0,00	0,99	0,58	-0,77	0,37	-0,04
CI	0,00	0,00	0,00	0,79	0,00	0,79	1,00	0,99	1	-0,65	-0,61	0,34	0,96	-0,84	0,00	0,96	0,68	-0,84	0,48	0,09
AB	-0,03	0,00	0,00	-0,84	0,00	-0,80	-0,70	-0,54	-0,65	1	-0,22	0,50	-0,39	0,13	0,00	-0,39	-1,00	0,95	-0,98	-0,82
Acopa	0,03	0,00	0,00	-0,14	0,00	-0,18	-0,55	-0,70	-0,61	-0,22	1	-0,95	-0,81	0,94	0,00	-0,81	0,17	0,09	0,40	0,74
CRAS	-0,03	0,00	0,00	-0,14	0,00	-0,09	0,27	0,46	0,34	0,50	-0,95	1	0,60	-0,79	0,00	0,60	-0,46	0,22	-0,66	-0,91
RMSP 20cm	-0,01	0,00	0,00	0,63	0,00	0,65	0,93	0,99	0,96	-0,39	-0,81	0,60	1	-0,96	0,00	1,00	0,43	-0,65	0,21	-0,20
Prof.max.	0,02	0,00	0,00	-0,43	0,00	-0,46	-0,80	-0,91	-0,84	0,13	0,94	-0,79	-0,96	1	0,00	-0,96	-0,18	0,43	0,06	0,46
MO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ds	-0,01	0,00	0,00	0,63	0,00	0,65	0,93	0,99	0,96	-0,39	-0,81	0,60	1,00	-0,96	0,00	1	0,43	-0,65	0,21	-0,20
Dp	0,03	0,00	0,00	0,85	0,00	0,82	0,73	0,58	0,68	-1,00	0,17	-0,46	0,43	-0,18	0,00	0,43	1	-0,97	0,97	0,79
PT	-0,02	0,00	0,00	-0,89	0,00	-0,87	-0,88	-0,77	-0,84	0,95	0,09	0,22	-0,65	0,43	0,00	-0,65	-0,97	1	-0,88	-0,61
Macro	0,03	0,00	0,00	0,76	0,00	0,72	0,55	0,37	0,48	-0,98	0,40	-0,66	0,21	0,06	0,00	0,21	0,97	-0,88	1	0,92
Micro	0,04	0,00	0,00	0,50	0,00	0,45	0,16	-0,04	0,09	-0,82	0,74	-0,91	-0,20	0,46	0,00	-0,20	0,79	-0,61	0,92	1

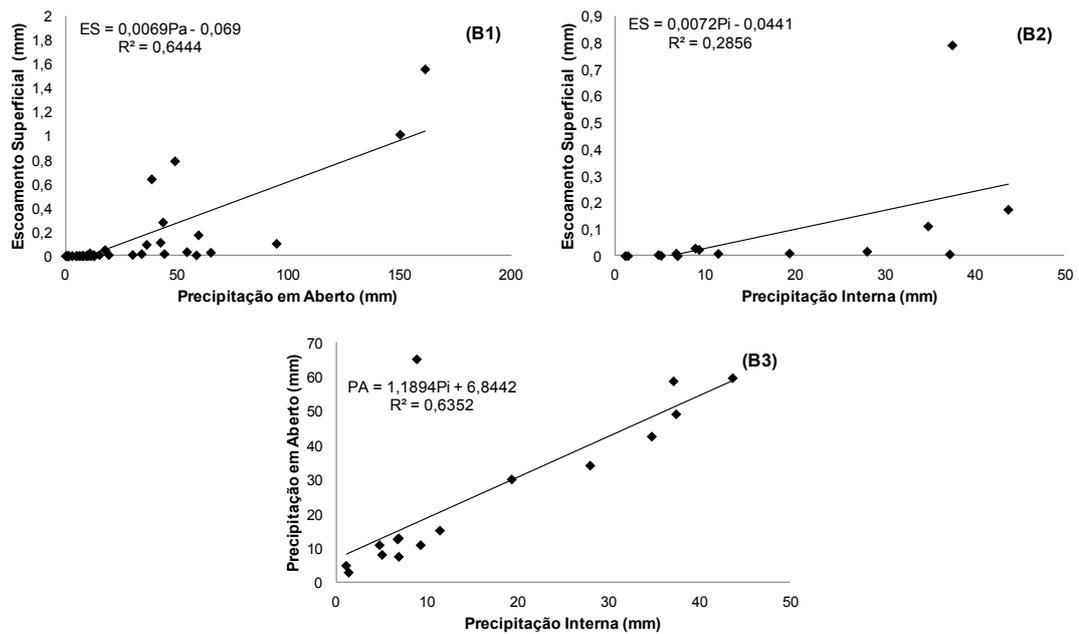


Figura 30. Relação do escoamento superficial (mm) com a precipitação em aberto (mm) (B1), com a precipitação interna (mm) (B2) e a relação entre a precipitação em aberto (mm) e a precipitação interna (mm) (B3), para a área pós-lavra, no município de Mirai, Minas Gerais, em 2016-2017.

Da PCA, a qual foi realizada para verificar a associação dos fatores entre si, verificou a formação de cinco grandes grupos de autovetores (Figura 31): 1) Pa, Pi, Observ. e MO; 2) Acopa e Prof.max.; 3) PT e AB; 4) RMS.P.20cm, Ds, VIB, VII e CI; e 5) PCES, Inclín., Dp, Macro e Micro. O eixo X explicou 48,77% dos dados e o eixo Y explicou 28,21% dos dados, totalizando 76,98%.

Foi encontrada uma correlação positiva alta entre Pa e Pi (0,80), indicando que a principal variável que influenciou na Pi, neste caso, foi a Pa (Figura 30B3), sendo observado correlação muito baixa da Pi com as demais variáveis, inclusive com o tempo (Observação) (-0,09).

Assim como discutido no ítem 3.7.1, a MO não apresentou correlação com nenhuma variável devida sua amostragem ter sido do tipo composta para análise química.

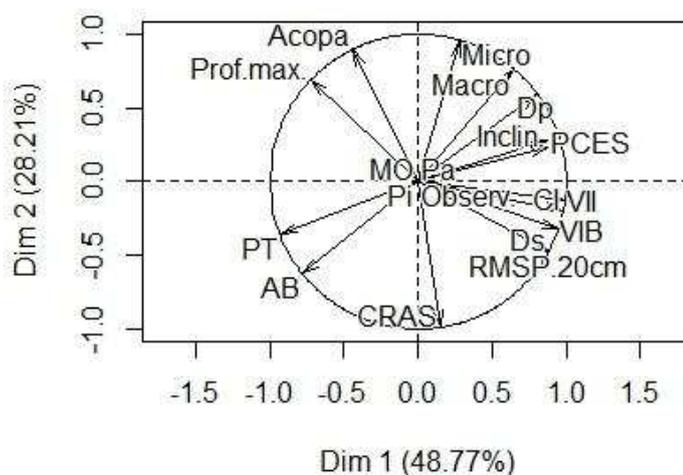


Figura 31. Mapa dos autovetores dos fatores analisados na PCA para a área pós-lavra, no município de Mirai, Minas Gerais, em 2016-2017, sendo precipitação em aberto (Pa), precipitação interna (Pi), parcelas coletoras de escoamento superficial (PCES), observações (Observ.), Inclinação (Inclin.), velocidade de infiltração inicial (VII), velocidade de infiltração básica (VIB), capacidade de infiltração (CI), área basal (AB), área de copa (Acopa), capacidade de retenção de água na serrapilheira (CRAS), resistência mecânica do solo à penetração média nos 20 cm superficiais (RMSP 20cm), profundidade máxima média da análise de RMSP (Prof.max.), matéria orgânica (MO), densidade do solo (Ds), densidade das partículas de solo (Dp), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro). Adaptado do software R.

Foi encontrada correlação negativa moderada entre a área basal (AB) com a $VI_{inicial}$ (-0,70), $VI_{básica}$ (-0,54) de fc (-0,65) e entre a área de copa projetada (Acopa) com a $VI_{inicial}$ (-0,55), $VI_{básica}$ (-0,70) de fc (-0,61), mostrando que a velocidade de infiltração reduz conforme aumenta a interceptação da chuva pelo dossel (Figura 32). Esta redução da velocidade de infiltração se deve à retenção de um volume de água de chuva na superfície das folhas e ramos que chegará ao solo mais tardiamente pela precipitação interna.

Observou correlação positiva muito alta entre a VII, VIB e CI, confirmando a grande associação destas variáveis entre si, dada sua mesma natureza (Figura 33).

Foi encontrada correlação positiva baixa a moderada entre a capacidade de retenção de água da serrapilheira (CRAS) e $VI_{inicial}$ (0,27), $VI_{básica}$ (0,46) de fc (0,34), indicando que, para esta situação, a água retida na serrapilheira é conduzida para o solo, participando do processo de infiltração, contribuindo com uma maior VI (Figura 34). Esta correlação foi o contrário do observado para a área pré-lavra,

porém, se faz coerente tendo em vista que o solo apresenta maior rugosidade devido o preparo do solo em nível, em que, esta água retida na serrapilheira tenha maior facilidade em infiltrar no solo do que escoar superficialmente, ao contrário da área pré-lavra.

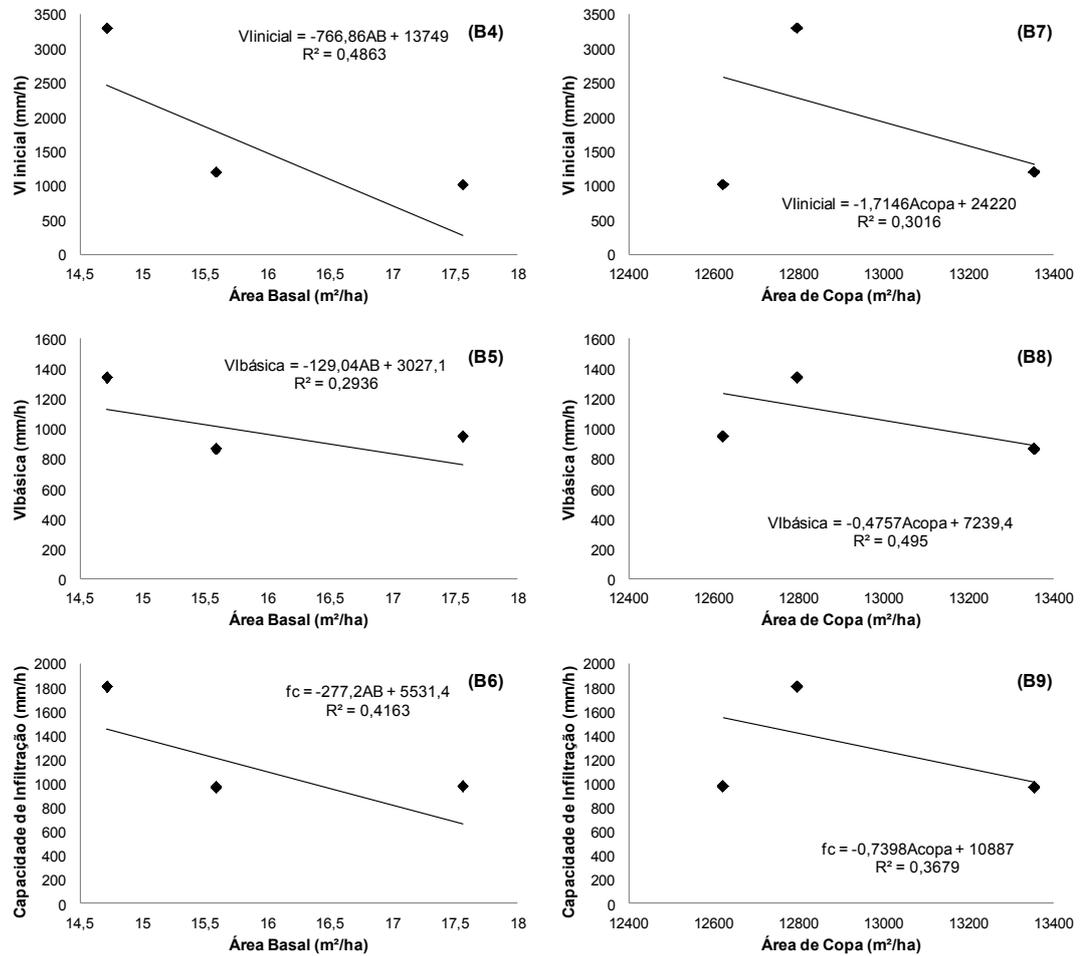


Figura 32. Relação da área basal com a $V_{I\text{inicial}}$ (B4), $V_{b\text{ásica}}$ (B5) e fc (B6) e da área de copa projetada com a $V_{I\text{inicial}}$ (B7), $V_{b\text{ásica}}$ (B8) e fc (B9), para a área pós-lavra, no município de Mirai, Minas Gerais, em 2016-2017.

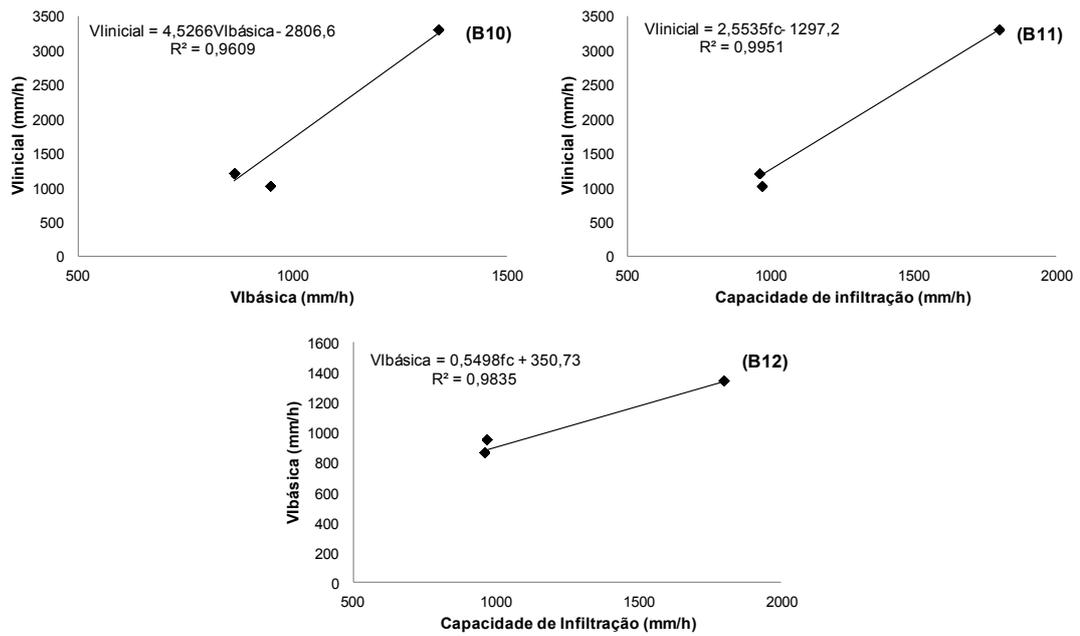


Figura 33. Relação da V_{inicial} com a $V_{\text{básica}}$ (B10) e com a f_c (B11) e da $V_{\text{básica}}$ com a f_c (B12), para a área pós-lavra, no município de Mirai, Minas Gerais, em 2016-2017.

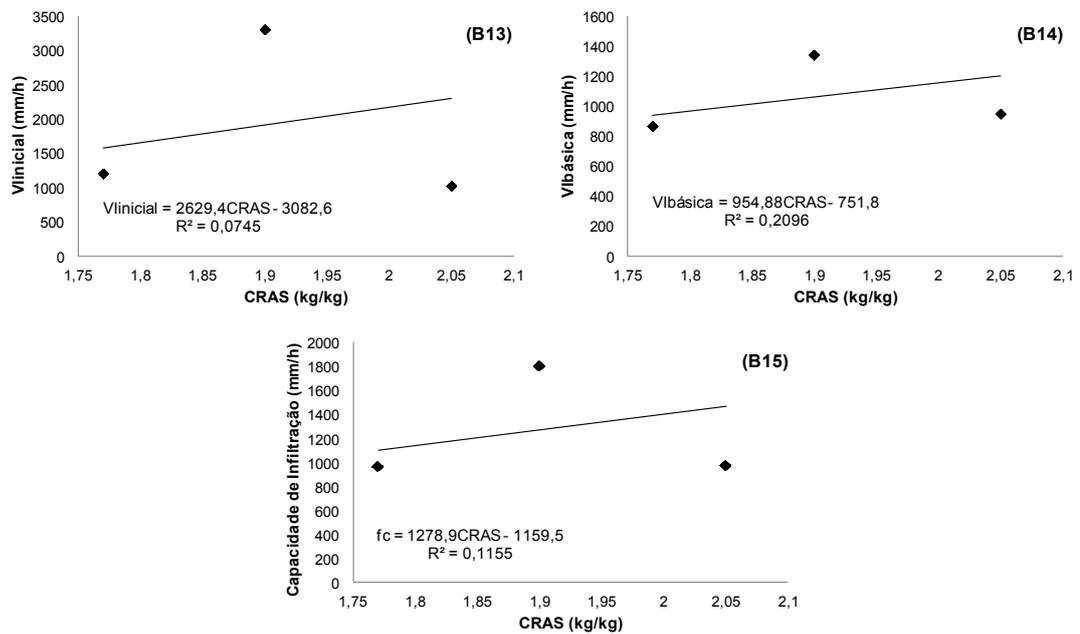


Figura 34. Relação da CRAS com a V_{inicial} (B13), $V_{\text{básica}}$ (B14) e f_c (B15), para a área pós-lavra, no município de Mirai, Minas Gerais, em 2016-2017.

Quanto à resistência mecânica do solo à penetração média nos 20 cm superficiais (RMSP.20cm), foi observado correlação negativa muito alta com a profundidade máxima de avaliação da RMSP (Prof.max.) (-0.96), validando a relação antagônica entre essas duas variáveis, em que, quando uma aumenta a outra

diminui (Figura 35B16). Também foi observado uma correlação positiva muito alta entre a RMSP.20cm e a densidade do solo (D_s) (1,00) e a correlação negativa moderada com a porosidade total (PT), indicando que o aumento da RMSP tem relação positiva com o aumento da D_s , reduzindo sua porosidade total (Figura 35B17 e B18). A redução na quantidade e volume de poros pode, a princípio, aumentar a retenção de água no solo, devido ao aumento dos poros capilares, porém reduz significativamente a infiltração que acontece pelos macroporos do solo. A macroporosidade do solo (Macro) da área pós-lavra apresenta correlação positiva moderada com a $V_{I_{inicial}}$ (0,55) e f_c (0,48) e correlação positiva baixa com a $V_{I_{básica}}$ (0,37), validando a discussão (Figura 35B19, B20 e B21).

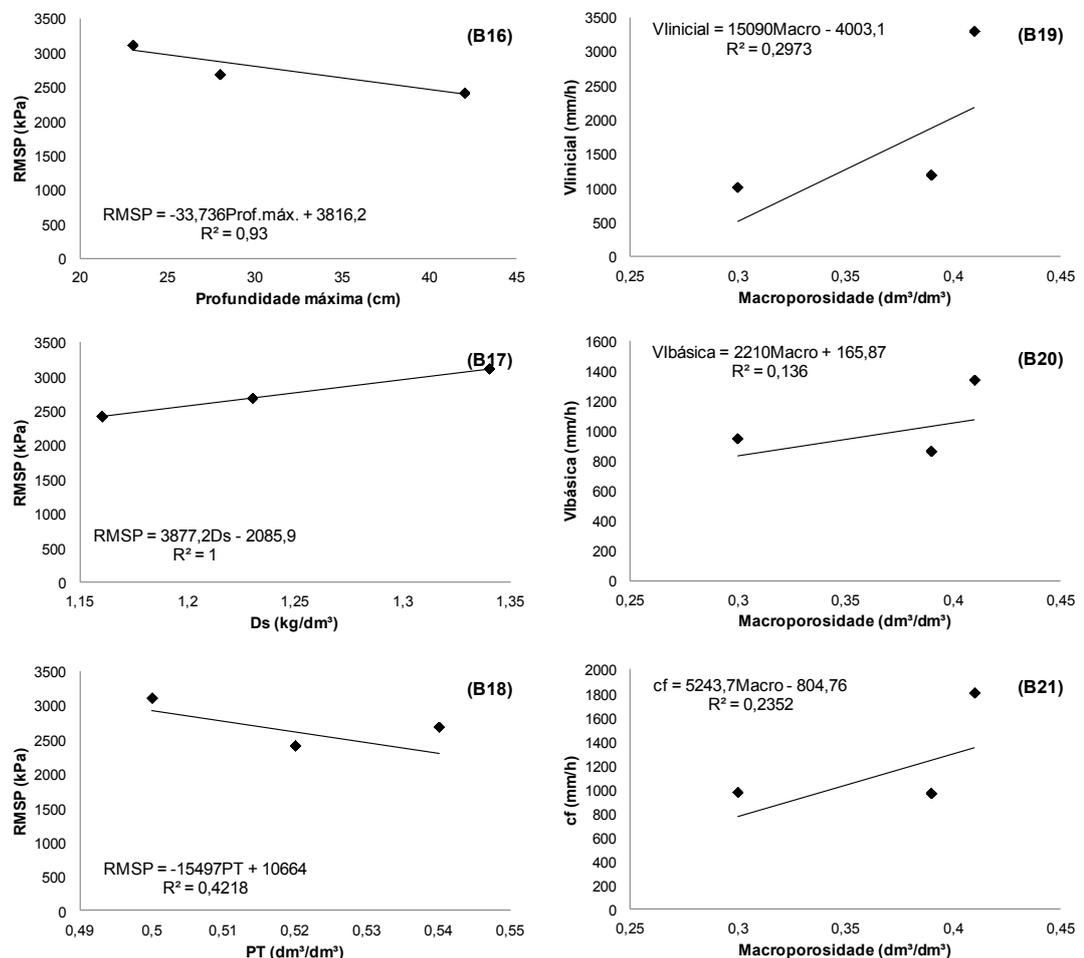


Figura 35. Relação da RMSP média a 20 cm de profundidade com a profundidade máxima (B16), D_s (B17) e PT (B18) e relação da macroporosidade do solo com a $V_{I_{inicial}}$ (B19), $V_{I_{básica}}$ (B20) e f_c (B21), para a área pós-lavra, no município de Mirai, Minas Gerais, em 2016-2017.

A D_s também apresentou correlação negativa muito alta com a Prof.máx. (-0,96) e correlação negativa moderada com a PT (-0,65), indicando também que, com o aumento da D_s , a Prof.máx. e a PT são reduzidas devido ao maior atrito com as partículas do solo em função da redução do tamanho dos poros (Figura 36B22 e B23).

Por sua vez, o aumento da PT aumenta esta profundidade máxima de penetração da haste (Prof.máx.), verificado pela correlação positiva moderada de 0,43 (Figura 36B24).

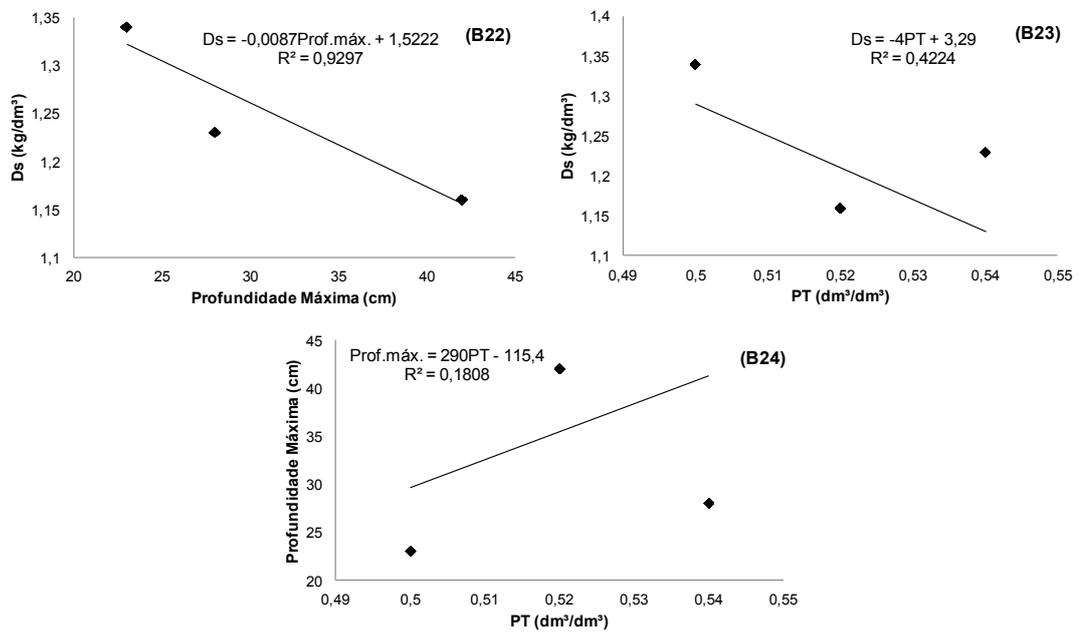


Figura 36. Relação da D_s com a Prof.máx. (B22) e com a PT (B23) e da Prof.máx. com a PT (B24), para a área pós-lavra, no município de Miraí, Minas Gerais, em 2016-2017.

4. CONCLUSÕES

O escoamento superficial na área pós-lavra é significativamente menor que o escoamento superficial gerado na área pré-lavra de bauxita em plantio de eucalipto com declividade na faixa de 10 a 15,5 graus, ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, chegando a uma diferença de 67,45%.

A caracterização dos parâmetros que se imaginava influenciar na geração de escoamento superficial foi satisfatória, sendo possível compreender quais fatores a mineração realmente impacta de forma positiva e de forma negativa e, também, obteve-se um melhor entendimento das diferenças e das semelhanças dos dois ambientes (tratamentos).

A diminuição do escoamento superficial na área pós-lavra foi satisfeita pelo processo de reabilitação realizado, sendo os parâmetros que mais influenciaram na diferença entre os tratamentos foram o manejo do solo e a tecnologia de plantio.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em média, o escoamento superficial para a área pré-lavra é de 0,56%, sendo gerado em precipitações acima de 10 mm, e, para a área pós-lavra o escoamento superficial é de 0,17% gerado para precipitações acima de 20 mm.

As variáveis que mais correlacionaram com a geração de escoamento superficial foram a precipitação interna, precipitação em aberto e o período de tempo (observações), respectivamente, para a área pré-lavra, e a precipitação em aberto e precipitação interna, respectivamente, para a área pós-lavra.

Os parâmetros relacionados ao plantio mostram que:

A alta densidade de árvores de eucalipto (plantas por área) aumenta a necessidade do plantio por recursos, sejam eles nutricionais e hídricos, dada a competição intraespecífica entre os indivíduos. A alta densidade de árvores também diminui a produção de matéria seca pelas plantas consorciadas, no caso a braquiária como forrageiras, pela recobrimento homogêneo do dossel, diminuindo a radiação solar na superfície do solo.

Uma opção para contornar a alta demanda por recursos pelas árvores do plantio e aumentar a produção de matéria seca pelas forrageiras é a adoção de sistemas agroflorestais (SAF), onde existe a proteção do solo pelas árvores, porém em arranjos espaciais menos densos, produção de forrageiras e a possibilidade de diversificação da produção pelo superficiário.

A adoção do plantio de eucalipto para a reabilitação de áreas mineradas de bauxita mostrou-se interessante do ponto de vista 1) hidrológico, dado a geração de escoamento superficial menor que 1%; 2) ecológico, pois o terreno fica dedicado ao plantio por no mínimo 5 a 7 anos, tempo em que existe o aporte de serrapilheira que se decompõe auxiliando na estruturação do solo; e 3) econômico, dado a manutenção da produtividade do terreno e o lucro com a madeira, sem muitos gastos ao superficiário.

A menor interceptação na área pré-lavra causada pelo número de falhas, heterogeneidade do plantio e menor área de copa projetada contribuiu para a maior precipitação interna, gerando maior escoamento superficial,

associado a isso a característica hidrofóbica da superfície do solo quando este se apresenta seco e o preparo do solo que criou uma microrrede de drenagem da água, facilitando a geração de escoamento superficial.

O volume de produção de serrapilheira na área pré-lavra auxiliou na redução do escoamento superficial por reduzir a energia das gotas de chuva que chegam à superfície do solo, criar uma superfície rugosa, reter 204% de água a mais que seu peso e distribuir esta água lentamente ao solo (infiltração) e à atmosfera (evaporação), caso contrário, acredita-se que o escoamento superficial seria consideravelmente maior. Quanto ao menor volume de serrapilheira na área pós-lavra, é indicada a implantação de forrageiras que suportem certo sombreamento e que produza uma quantidade maior de matéria seca, quando em plantio de eucalipto em área total.

Quanto aos parâmetros físicos do solo:

A infiltração mostra que os solos de ambos os tratamentos possuem a mesma capacidade de infiltração, mesmo após o processo de mineração e reabilitação.

A resistência mecânica do solo à penetração na área pré-lavra é menor, não apresentando resistências acima de 3.000 kPa que são limitantes para o crescimento de raízes de eucalipto, o que já foi observado para a área pós-lavra. Essa maior resistência se deve a presença de cascalhos em todo o perfil, a maior densidade do solo e a presença de estéril na profundidade média de 30 cm. A empresa realiza duas subsolagens cruzadas à 60 cm de profundidade para reverter a compactação gerada pelo trânsito de equipamentos. A maior RMSP não está impedindo o crescimento e lançamento de raízes além do top-soil.

A umidade do solo menor para a área pré-lavra se deve a alta densidade de árvores no plantio que aumenta a demanda por água para seus processos fisiológicos (transpiração) e pela exposição do terreno para noroeste, que recebe maior radiação ocorrendo maior evaporação da água do solo.

A diferença na densidade de partículas é explicada pela diferença da textura dos solos. O processo de mineração altera a macroestrutura do solo, que é observado pelo aumento em sua densidade, porém, sua microestrutura não é alterada, fato que é observado pela semelhança entre a porosidade (micro, macro e total) de ambos os solos.

Os parâmetros químicos do solo mostram que:

A correção do solo, pela calagem e fosfatagem, alcançou êxito na neutralização da acidez trocável (AL^{3+}) e aumentou a disponibilidade de nutrientes (P, K, Ca^{2+} e Mg^{2+}). Houve decréscimo nos teores de MO e concentração de K^+ que é explicado pela diluição da MOS com camadas mais profundas de solo, que constituem no *top-soil*.

Sugere-se a continuação da avaliação do escoamento superficial nas áreas estudadas neste trabalho para aumento do banco de dados e maior redução de erros. Acima de tudo, avaliar o escoamento superficial na área que atualmente é pré-lavra quando esta estiver em reabilitação, comparando uma área pré-lavra com outra pós-lavra separadas temporalmente, ao invés de temporal e espacial como se deve esse estudo.

Também avaliar o escoamento pelo tronco e melhorar a coleta da precipitação interna para fazer o balanço hídrico nos plantios pós-lavra, e também avaliar periodicamente a umidade do solo.

Não considerou as demais correlações existentes dadas seus valores muito baixos ou nulos e, também, quando a correlação existente entre dois pares de fatores não foi possível de ser explicada em razão de sua relação não ser estudada com profundidade neste trabalho.

6. BIBLIOGRAFIA

ABIVEN, S.; MENASSERI, S.; CHENU, C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. **Soil Biology & Biochemistry**, v.41, p.1-12, 2009.

ALVAREZ, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711–728, jan. 2013.

BARBOSA, R. A. **Crescimento de clone de eucalipto em espaçamentos amplos com variação na distância entre plantas na linha de plantio**. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

BARTON, C. V. M.; MONTAGU, K. D. Effect of spacing and water availability on root:shoot ratio in *Eucalyptus camaldulensis*. **Forest Ecology and Management**, v.221, p.52-62, 2006.

BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; FABIAN, V. L.; PEGORARO, R.; ZAVASCHI, E.; GONZÁLEZ, A. P.; VÁZQUEZ, E. V. Escoamento superficial em diferentes sistemas de manejo em um Nitossolo Háplico típico. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.12, n.3, p.243–250, 2008.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Ed. Universidade/UFRGS, 2001. p.177-242.

BORGES, S. R. **Qualidade do solo em áreas em recuperação com forrageiras e cafeeiro pós-mineração de bauxita**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 124 p., 2013.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre : Bookman, 2013.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal – perguntas e respostas**. 4 ed. Editora UFV, Viçosa: UFV, 2013. 605p.

CARVALHO, A. P. V. **Recarga de água no solo na bacia hidrográfica Riacho Fundo, Felixlândia - MG**. Viçosa – MG, 2011. 61f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

CASTRO, R. V. O.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, F. B.; LEITE, H. G. Crescimento e produção de plantios comerciais de eucalipto estimados por duas categorias de modelos. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.48, n.3, p.287-295, mar. 2013.

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.10, n.1-4, p.1-7, 2002.

DAN TATAGIBA, S.; PEZZOPANE, J. E. M.; DOS REIS, E. F.; DARDENGO, M. C. J. D.; EFFGEN, T. A. M. Comportamento fisiológico de dois clones de Eucalyptus na época seca e chuvosa. **Cerne**, Lavras, v.13, n.2, p.149-159, abr./jun., 2007.

DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.3, p.383-390, 2005.

DEMOLINARI, R. A.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L. Crescimento de plantios clonais de eucalipto não desbastados na região de Monte Dourado (PA). **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.3, p.503-512, 2007.

DEMOLINARI, M. S. M. **Dinâmica da matéria orgânica de solos em processo de reabilitação após mineração de bauxita**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 90 p., 2013.

DOERR, S.H.; RITSEMA, C. J.; DEKKER, L. W.; SCOTT, D. F.; CARTER, D. Water repellence of soils: new insights and emerging research needs. **Hydrological Processes**, v.21, p.2223- 2228, 2007.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed.rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: DE JONG VAN LIER, Q. **Física do solo**. Viçosa – MG : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 01-28.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.507-514, 1999.

FIEDLER, N. C.; DO CARMO, F. C. A.; PEREIRA, D. P.; GUIMARÃES, P. P.; DA RÓS, E. B.; MARIN, H. B. Viabilidade técnica e econômica de plantios comerciais em áreas acidentadas no Sul do Espírito Santo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 745-753, out.-dez., 2011.

FORTUCE, R. C. R. L.; ALMEIDA, A. V.; WERNECK, G. S. S. **Padrão Operacional**: decapeamento. Mirai, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Operação de Mina, v. 1.0, 4 p., 2017a.

FORTUCE, R. C. R. L.; ALMEIDA, A. V.; WERNECK, G. S. S. **Padrão Operacional**: escarificação de área reconformada. Mirai, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Operação de Mina, v. 1.0, 4 p., 2017b.

FORTUCE, R. C. R. L.; OLIVEIRA, R.; WERNECK, G. S. S. **Padrão Operacional**: espalhamento de topsoil. Mirai, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Operação de Mina, v. 1.0, 4 p., 2017c.

FREITAS, J. P. O. **Caracterização de processos hidrológicos em ambientes de estágio inicial e avançado de regeneração em floresta atlântica**. Viçosa – MG,

2014. 47f.. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

FREITAS, J. P. O.; DIAS, H. C. T.; SILVA, E.; TONELLO, K. C. Net precipitation in a Semideciduous Forest fragment in Viçosa city, MG. **Rev. Árvore**, v.40, n.5, Viçosa, 2016.

GOMES, M. G.; CORREIA, J. C.; WERNECK, G. S. S. **Padrão Operacional: exploração**. Mirai, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Operação de Mina, v. 1.1, 4 p., 2017.

GOMES, M. G.; WERNECK, G. S. S. **Padrão Operacional: abertura de acessos**. Mirai, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Operação de Mina, v. 1.1, 4 p., 2017.

GREACEN, E. L.; SANDS, R. Compaction of forest soils. A review. **Aust. J. Agric. Res.**, v.18, p. 163-89, 1980.

HORTON, R. E. An approach towards physical interpretation of infiltration capacity. **Proceedings of the Soil Science Society of America**, v.5, p.399 –417, 1940.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2.ed. Manuais técnicos em Geociência. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. 275 p.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Precipitação acumulada NCB 1961-1990** [Planilha eletrônica]. INMET : Brasília/DF, 2017.

JESUS, G. L. de; SILVA, I. R.; ALMEIDA, L. F. J.; SANTOS, M. A. dos; LEITE, F. P.; NEVES, J. C. L. Produtividade do eucalipto, atributos físicos do solo e frações da matéria orgânica influenciadas pela intensidade de tráfego e resíduos de colheita. **R. Bras. Ci. Solo**, v.39, p.1190-1203, 2015.

JOHN, B.; YAMASHITA, T.; LUDWIG, B.; FLESSA, H. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. **Geoderma**, v.128, p.63-79, 2005.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 3.ed. Passo Fundo: EDIUPF. 2014. 263p.

LEITE, H. G.; CASTRO, R.; SILVA, A.; JÚNIOR, C.; BINOTI, D.; CASTRO, A. F.; BINOT, M. Classificação da Capacidade Produtiva de Povoamentos de Eucalipto Utilizando Diâmetro Dominante. **Silva Lusitana**, Oeiras-PT, v.19, n.2, p.181-195, 2011.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba : Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2008.

LOPES, A. T.; BARROS, R. S. **Padrão Operacional: definição da forma (manual ou mecanizado) dos serviços de reabilitação ambiental (calagem, fosfatagem e plantio de sementes)**. Mirai, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Reabilitação Ambiental, v. 1.1, 5 p., 2017a.

LOPES, A. T.; BARROS, R. S. **Padrão Operacional**: plantio de café, nativas e eucalipto. Mirai, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Reabilitação Ambiental, v. 1.0, 7 p., 2017b.

LOPES, L. M.; CARVALHO, A. Gênese da bauxita de Mirai, MG. Revista Brasileira de Geociências v.19, n.4, p.462-469, 1990.

LOPES, R. F.; BRANQUINHO, J. A. Jazidas de bauxita da Zona da Mata de Minas Gerais. In: SCHOBENHAUS, C.; COELHO, C. E. S. **Principais depósitos minerais do Brasil**, v.3. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1988. p. 599-619.

MARISCAL-FLORES, E. J. **Potencial produtivo e alternativas de manejo sustentável de um fragmento de Mata Atlântica secundária, Município de Viçosa, Minas Gerais**. 1993. 165p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1993.

MARQUES, J. D. O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; SARRAZIN, M.; FERREIRA, S. J. F.; BELDINI, T. P.; MARQUES, E. M. A. Distribution of organic carbon in different soil fractions in ecosystems of Central Amazonia. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v.39, n.1, Jan./Feb., 2015.

MATEUS, F. A.; MIRANDA, C. C.; VALCARCEL, R.; FIGUEIREDO, P. H. A. Estoque e Capacidade de Retenção Hídrica da Serapilheira Acumulada na Restauração Florestal de Áreas Perturbadas na Mata Atlântica. **Floresta e Ambiente**. Seropédica, v.20, n.3, p.336-343.2013.

MELOS, A. R. M.; SATO, A. M.; COELHO, A. L. No. Produção, estoque e retenção hídrica da serrapilheira em encosta sob plantio de híbridos de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*: médio vale do Rio Paraíba do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.33, n.2, p.66-73, 2010.

MOLCHANOV, A.A. **Hidrologia Florestal**. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1963. 419p.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G. Arranjos estruturais do componente arbóreo em Sistema Agrosilvipastrel e seu manejo por desrama e desbaste. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.31, n.257, p.47-58, 2010.

OLIVEIRA, C. H. R. **Produção de eucalipto em auto fuste e talhadia e de braquiária em sistemas silvipastrel em diferentes arranjos espaciais**. 118 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

OSAKABE, YURIKO; OSAKABE, KEISHI; SHINOZAKI, KAZUO; TRAN, LAM-SON P. Response of plants to water stress. **Frontiers in Plant Science**, v.5, p.8, 2014.

PACHECO, L. P.; PETTER, F. A. Benefits of cover crops in soybean plantation in Brazilian cerrados. In: TZI BUN, N. G. **Soybean**: applications and technology. Rijeka: InTech, 2011. p. 67-94.

PAULA, R. R.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; OLIVEIRA NETO, S. N.; LEITE, H. G.; MELIDO, R. C. N.; LOPES, H. N. S.; SOUSA, F. C. Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. **Agroforestry Systems**, v.87, n.6, p.1285-1307, 2013.

PETTER, F. A.; PACHECO, L. P.; ZUFFO, A. M.; PIAULINO, A. C.; XAVIER, Z. F.; SANTOS, J. M. dos; MIRANDA, J. M. S. Performance of cover crop under the water déficit. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3307-3320, 2013.

PRASAD, J. V. N. S.; KORWAR, G. V.; RAO, K. V.; MANDAL, U. K.; RAO, C. A. R.; RAMAKRISHNA, Y. S.; VENKETESWARLU, B.; RAO, S. N.; KULKARNI, H. D.; RAO, M. R. Tree row spacing affected agronomic and economic performance of Eucalyptus-based agroforestry in Andhra Pradesh, Southern India. **Agroforestry Systems**, v.78, n.2, p. 253–267, 2010.

PRUSKI, F. F. Fatores que interferem na erosão hídrica do solo. In: PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa – MG : Editora UFV, 2.ed, 2009. 279p.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. Viçosa-MG, Editora UFV, 2004. 87p.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2017. URL <https://www.R-project.org/>.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do solo. In: DE JONG VAN LIER, Q. **Física do solo**. Viçosa – MG : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 29-102.

RIBEIRO, A. C. GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa/MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, 1999. 359p.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.47, n.7, p.964-971, jul. 2012.

SANDS, R.; GREACEN, E. L.; GERARD, G. J. Compaction of sandy soils in radiata pine forests. I. A penetrometer study. **Aust. J. Agric. Res.**, v.17, p.101-13, 1979.

SANTOS, A. F. A.; CARNEIRO, A. C. P.; MARTINEZ, D. T.; CALDEIRA, S. F. Capacidade de Retenção Hídrica do Estoque de Serapilheira de Eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v.24, p. 1-9, 2017.

SANTOS, D. S.; ARRUDA, E. M.; MORAES, E. R.; FRANCO, F. O.; ARAÚJO, J. R.; RESENDE, T. M.; BORGES, E. N.; RIBEIRO, B. T. Atributos físicos e matéria orgânica de áreas de Latossolo utilizadas para atividade pecuária no bioma Cerrado. **Biosci. J.**, v.28, n.4, p.500-508, 2012.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Rev. Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. perdas de solo e água. **R. Bras. Ci. Solo**, v.24, p.427-436, 2000.

SEIXAS, F.; SOUZA, C. R. Avaliação e efeito da compactação do solo, devido à frequência de tráfego, na produção de madeira de eucalipto. **R. Árvore**, v.31, p.1047-52, 2007.

SILVA DE SOUSA, R.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; BRITO, R. R. de. Desempenho produtivo de genótipos de milho sob déficit hídrico. **Rev. Bras. de Milho e Sorgo**, v.14, n.1, p.49-60, 2015.

SILVA, A. P.; IMHOFF, S. C.; TORMENA, C. A.; LEÃO, T. P. Avaliação da compactação de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p.352-372.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Comparison of means of agricultural experimentation data through different tests using the software Assistat. **Afr. J. Agric. Res.**, v.11, n.37, pp.3527-3531, 2016.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res.** Vol. 11(39), pp. 3733-3740, 29 September 2016.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; VILAS BOAS, J. E. B. Crescimento e nutrição de eucalipto em resposta à compactação de Latossolos com diferentes umidades. **R. Bras. Ci Solo**, v.30, p.759-768, 2006.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Ed. Universidade/UFRGS, 2001. p 35-51.

SOARES, C. C. V. **Gênese e evolução mineralógica, micromorfológica e geoquímica da bauxita de Espera Feliz, MG**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas, Ouro Preto - MG, 104 p., 2013.

SOARES, C. C. V.; VARAJÃO, A. F. D. C.; VARAJÃO, C. A. C.; BOULANGÉ, B. Mineralogical, micromorphological and geochemical transformations in the initial steps of the weathering process of charnockite from the Capara_o Range, southeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.56, p.30-40, 2014.

TUCCI, C. E. M. Interceptação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Ed. Universidade/UFRGS, 2001. p.243-252.

USDA – United States Department of Agriculture. **Soil Survey Manual**. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, 2017. 639 p. (Agriculture Handbook No. 18).

VALLEJO, L. R. **A influência do Litter na distribuição das águas pluviais**. Rio de Janeiro, 1982. 88f.. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

VOGELMANN, E. S.; REICHERT, J. M.; PREVEDELLO, J.; AWE, G. O. Hydro-physical processes and soil properties correlated with origin of soil hydrophobicity. **Ciência Rural**, v.43, p.1582-1589, 2013b.

VOGELMANN, E. S.; REICHERT, J. M.; PREVEDELLO, J.; AWE, G. O.; MATAIX-SOLERA, J. Can occurrence of soil hydrophobicity promote the increase of aggregates stability? **Catena**, v.110, p.24-31, 2013a.

VOGELMANN, E. S.; REICHERT, J. M.; PREVEDELLO, J.; AWE, G. O.; REINERT, D. J. Soil hydrophobicity: comparative study of usual determination methods. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.2, p.260-266, fev, 2015.