

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**IMPACTO DA EXPLORAÇÃO DA ÁGATA NA PAISAGEM
E NO SOLO**

MAURÍCIO SONDA TONELLO

Orientador: Prof. Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração em Produção Vegetal.

Passo Fundo, março de 2016



A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação.

“IMPACTO DA EXPLORAÇÃO DA ÁGATA NA PAISAGEM E NO SOLO”

Elaborada por

Maurício Sonda Tonello

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em
Agronomia – Produção e Proteção de Plantas

Aprovada em: 18/04/2016
Pela Comissão Examinadora


Dr. Edson Campanhoia Bortoluzzi
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador


Dra. Eunice Oliveira Calvete
Coord. Prog. Pós-Graduação em Agronomia


Dr. Maciel Donato
UPF


Dr. Hélio Carlos Rocha
Diretor FAMV


Dra. Clarissa Trois Abreu
UPF

CIP – Catalogação na Publicação

- S664i Tonello, Maurício Sonda
Impacto da exploração da ágata na paisagem e no solo / Maurício Sonda Tonello . – 2016.
108 f. : il. color. ; 25 cm.
- Orientador: Prof. Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) –
Universidade de Passo Fundo, 2016.
1. Sensoriamento remoto. 2. Fertilidade do solo.
3. Solos - Degradação. 4. Paisagens. I. Bortoluzzi, Edson
Campanhola, orientador. II. Título.

CDU: 622.23

Catálogo: Bibliotecária Marciéli de Oliveira - CRB 10/2113

*À minha filha e minha esposa que amo muito,
Livia Klauck Tonello e Kassieli Klauck Tonello!*

*A meus pais,
Arlete T. S. Tonello,
Jatir Tonello,
com muito amor e uma imensa gratidão!*

*Ao amigo e orientador Dr. Edson. C. Bortoluzzi pelos ensinamentos
acadêmicos e de vida,*

*A todos os amigos que são importantes em tudo nas nossas vidas, e
principalmente a nossa equipe do laboratório que trabalhou muito
para o sucesso de todos,*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Com poucos parágrafos é impossível retratar a importância das pessoas para as quais tenho muito a agradecer. Sem faltar a ninguém quero ressaltar a importância de alguns personagens nos dois anos de luta e conquistas.

Primeiramente a Deus, que abençoou a toda minha família e amigos com muita saúde e disposição para cruzar os obstáculos da vida.

A minha pequena menina que chegou em março de 2015 e trouxe a maior realização da vida de um homem...ser pai. Lívia, que Deus conceda a você o dom da Saúde para toda a sua vida. E para minha amada, Kassi, que me deu a nossa amada Lívia tenho muito a agradecer. Não sei quantas horas fiquei ausente, fora de casa, trabalhando, longe de você e da nenê, e ao chegar em casa, gastei mais algumas horas trabalhando neste estudo, para que ao final chegássemos ao esperado objetivo. Sempre foi o pilar da nossa família no qual o amor e a dedicação são os sentimentos que suportam todas as dificuldades. Agradecer de qualquer forma seria muito pouco para demonstrar o quão importante você é para mim, mas fica aqui um simples mas eterno muito obrigado meu amor, amo você!

Aos meus pais, Jatir e Arlete, agradecer nunca será demais, pelos valores que carrego comigo, humildade, honestidade, trabalho, e perseverança, um muito obrigado eterno e do fundo do coração. Que

Deus permita que consiga fazer a meus filhos o que vocês fizeram por mim, e assim terei feito muito por eles.

Ao amigo e orientador Dr. Edson C. Bortoluzzi, pela parceria em todos os momentos, seja na orientação ou nos momentos de descontração, a sua humildade como pessoa e profissional é fonte de inspiração a todos nós seus amigos. Agradeço muito pela confiança depositada em mim.

À pós-doutoranda Clarissa Trois Abreu pela ajuda em diversos momentos nestes dois anos. Ao colega e amigo Jackson Korchagin pela parceria na pesquisa e na cantoria. À todos os estagiários e pós-graduandos do Laboratório de Uso e Manejo do Território e dos Recursos Naturais, principalmente a mestranda Luana Dallacorte a qual ajudou-me muito na execução do trabalho.

Ao amigo e professor Wagner D. Bilhalva pelos ensinamentos fundamentais a execução desse trabalho.

À Universidade de Passo Fundo e ao PPGAgro, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia pelos equipamentos cedidos pelo Projeto Polo Tecnológico do Alto da Serra do Botucarái, RS. À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado. À FAPERGS pelos recursos financeiros do edital 001/2013 – PQG 1939-2551/13-7, sem os quais não seria possível a sua execução. Aos demais professores da FAMV/UPF e do Programa em Pós-Graduação em Agronomia, pelos valiosos ensinamentos.

Enfim, a todos os amigos que de qualquer forma contribuíram e fazem parte da minha vida.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	4
1.1 Hipóteses.....	6
1.2 Objetivo Geral.....	7
1.3 Objetivos Específicos.....	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 Minerais do Alto da Serra do Botucaraí.....	8
2.2 Legislação Ambiental.....	9
2.3 Sensoriamento Remoto: usos e possibilidades....	11
2.4 Qualidade dos solos.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Cartografia digital das unidades de mineração.....	19
3.2 Qualidade do solo.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Cartografia digital	33
4.2 Qualidade do solo.....	42
4.2.1 Caracterização dos solos nas paisagens.....	42
4.2.2 Caracterização mineralógica dos solos.....	47
4.2.3 Impacto da exploração na qualidade do solo.....	50
4.3 Metodologia de avaliação de impacto sobre solo...	58
5 CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	64
APÊNDICES	68

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Identificação da área de garimpo, município e tipo de licença obtida junto a Fepam, RS.....	20
2	Data de aquisição e extensão das imagens adquiridas para estudo.....	23
3	Descrição da distribuição das ocupações do solo no raio de 600 metros para cada garimpo, nas diversas paisagens: Mata Nativa (MN), Campestre (C), Lavoura (L), Bosques (B), espelho de Água (EA), Estrada (E), Construções (CN).....	34
4	Descrição da distribuição das ocupações do solo no raio de 200 metros para cada garimpo, nas diversas paisagens: Mata Nativa (MN), Campestre (C), Lavoura (L), Bosques (B), espelho de Água (EA), Estrada (E), Construções (CN).....	36
5	Usos do solo em hectares (ha) nos raios de 600 e 200 metros.....	37
6	Altitude e composição das paisagens nos garimpos visitados.....	38
7	Teor médio (3 repetições) e desvio padrão (entre parênteses) dos atributos químicos e físicos de solo estudados nas paisagens campestre, mata nativa, lavoura e garimpo de todas as unidades de estudo.....	43
8	Teor médio (3 repetições) e desvio padrão (entre parênteses) dos atributos químicos e físicos de solo estudados nas paisagens campestre, mata nativa, lavoura e garimpo de todas as unidades de estudo.....	44
9	Teor de elementos totais (em óxidos) e desvio padrão (entre parênteses) das médias analisadas por fluorescência de Raio X, e atributos do solo de áreas com presença de pedras ágata.....	48
10	Teor dos atributos da paisagem campestre, nos grupamentos com exploração ativa (EA),	

	recuperação ambiental regular (RAR), recuperação ambiental espontânea (RAE) e sem exploração (SE).....	52
11	Efeitos no solo dos tipos de recuperação ambiental, espontânea (RAE) ou regular (RAE) nas paisagem campestre e garimpo.....	54
12	Média dos atributos do solo das paisagens adjacentes as explorações (campestre) nas áreas com exploração e nas áreas sem exploração.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Mapa gemológico da região sul do Brasil (PR, SC e RS), indicando as principais unidades geológicas e as áreas de ocorrência de materiais gemológicos de interesse (Juchem et al., 2009)...	8
2	Mapa geológico, rochas vulcânicas (basaltos e riódacitos) da região sul, Hartmann & Baggio (2015).....	18
3	Distribuição das unidades de estudo por municípios da Região do Alto da Serra do Botucaraí.....	19
4	Imagem de satélite adquirida sem os tratamentos para o estudo.....	23
5	Procedimento utilizado para classificação das paisagens.....	27
6	Representação do raio de 200 metros cortando todas as feições.....	29
7	Esquema exemplificando as paisagens nas quais foram coletadas as amostras de solo. Em todas as paisagens de cada unidade foram coletadas 3 amostras de solo. A é um exemplo da paisagem garimpo. B, C, D são paisagens de mata nativa. E e F são paisagens de lavoura. G, H e I são paisagens campestre.....	30
8	Mapa temático contendo dados altimétrico, hidrográfico e localização de garimpos de pedras ágata da Região do Alto da Serra do Botucaraí.....	39
9	Mapa de usos do solo das unidades 4b (esquerda) e 6 (direita), demonstrando aspectos similares de revolvimento do solo ao centro (unidade 6) e na parte superior (unidade 4b).....	40
10	Foto da esquerda com retalho de pedras ágatas sobre à superfície. Foto à direita com solo revolvido e pouca vegetação sobre à superfície.....	41

IMPACTO DA EXPLORAÇÃO DE ÁGATA NA PAISAGEM E NO SOLO

MAURÍCIO SONDA TONELLO¹

RESUMO – A atividade exploratória de pedras ágata pode provocar profundas modificações no solo e nas paisagens. A caracterização dos solos de paisagens próximas à exploração pode servir como base científica para aprimorar estratégias de regeneração dessas áreas após a exploração. Neste estudo, com o uso de uma metodologia nova, objetivou-se avaliar os distintos usos do solo no entorno das explorações e o impacto da exploração de ágata na qualidade do solo, utilizando-se imagens de satélite conjuntamente com a avaliação de atributos químicos e físicos de solo. Imagens aéreas indicaram que a paisagem mata nativa representou a maior ocupação do território adjacente (raio de 600 m) à exploração de ágata, atingindo 35%. O segundo maior uso do território estudado foi a paisagem campestre com 32%, seguida de lavouras com 29%. Juntas, essas paisagens ocupam 96% do território estudado, que abrangeu um total de 1.830,78 hectares referentes a diferentes minas de ágata repertoriadas pelo órgão de meio ambiente do estado do Rio Grande do Sul. A análise de atributos químicos e físicos de solo nas lavras sugerem perda de qualidade do solo. Dentre os atributos avaliados, a diminuição da saturação por bases do solo e do teor de matéria orgânica, além do aumento nos teores de alumínio foram os mais afetados. Pode-se inferir que os solos nas

¹ Eng. Agr., mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) da FAMV/UPF, Área de Concentração em Solos.

paisagens adjacentes aos garimpos servem como indicadores para a reconstrução da fertilidade dos solos degradados pela exploração com lavras a céu aberto, uma vez que estes não tem sua fertilidade afetada pela exploração. A metodologia utilizada neste estudo complementa as estratégias de recuperação de áreas degradadas pela mineração com lavras a céu aberto.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, fertilidade, solo degradado, paisagens.

IMPACT OF AGATE EXPLOITATION ON LANDSCAPE AND SOIL

ABSTRACT – The agate stone exploratory activity can cause profound changes in soil and landscapes. The characterization of the soil in the landscape near the mining can serve as a scientific base and contributed for regeneration strategies in these areas after the end of exploitation. In this study, using a new methodology, we aimed to evaluate the different land uses in the nearest lands of mining and the impact on soil quality, using satellite images together with the evaluation of chemical and physical properties of soil. The landscape native forest represented the largest occupation of adjacent territory (600 meters of radius) agate exploration, reaching 35%. The second largest occupation of the territory studied was the grassland with 32%, followed by crops with 29%. Together, these landscapes occupy 96% of the study area, covering 1830.78 hectares in different agate mines agate inventoried by

the environmental agency of the state of Rio Grande do Sul. The analysis of soil chemical properties in the mines suggest loss of quality when exposed the exploitation of precious stones. Among the attributes, the decrease in soil base saturation and organic matter content in addition to the increase in aluminum levels were the most affected. It can be inferred, that the soil nearest the mines can serve as indicators for the reconstruction of fertility of degraded soils exploitation with mines once they do not suffer impact over his soils by the exploitation. The methodology applied in that study will complements strategies to recover degraded soils by opencast mining.

Key words: remote sensing, fertility, degraded soils, landscapes.

1 INTRODUÇÃO

A exploração mineral no Brasil é uma fonte importante de divisas e movimenta bilhões de reais anualmente, além de empregar milhares de pessoas nesse setor. As pedras preciosas, mais precisamente a ágata, são retiradas em meio ao solo em diversas profundidades e seu processo de extração provoca grandes movimentações de terra. Essa movimentação gera danos ambientais e também modifica a paisagem na qual está inserida a exploração.

A partir de 2016 as prefeituras da região do Alto da Serra do Botucaraí, no Rio Grande do Sul, serão as responsáveis pelo licenciamento e fiscalização das atividades mineradoras enquadradas como de impacto local. Isso ocorreu em 08/12/2011, com a Lei Complementar n. 140, que estabeleceu que é competência dos municípios o licenciamento das atividades de impacto local (Brasil, 2011).

O estudo das áreas passíveis de exploração e das áreas em processo de licenciamento para o garimpo de pedras preciosas, especialmente na exploração da ágata, torna-se uma ferramenta imprescindível para subsidiar o futuro das instituições públicas responsáveis pelo licenciamento e fiscalização de atividades produtivas, bem como, a gestão ambiental do território.

A informalidade de parte da cadeia produtiva envolvida com a extração, comércio e beneficiamento de ágata no Rio Grande do Sul, dificulta muito a execução de qualquer trabalho a campo, seja para tomada de dados gerais, ou mesmo a coleta de amostras para pesquisa. Nesse sentido, faz-se necessário o desenvolvimento de metodologias

adequadas para se estudar os efeitos da exploração de ágata em características da paisagem e do solo.

Uma das ferramentas que pode contemplar essa necessidade é a utilização de sistemas de informações geográficas (SIG), mais especificamente o sensoriamento remoto (SR) que possibilita a coleta de dados de uma dada área via satélite, não sendo necessária a presença física do agente na área objeto, seja para fins de fiscalizar, monitorar atividades produtivas ou para a recuperação ambiental. Com o uso dessa ferramenta, é possível detectar e monitorar as modificações nos ambientes ocupados por garimpos, além de permitir visualizar a recuperação das áreas degradadas com o estudo das paisagens próximas as lavras de exploração.

Os garimpos de ágata, caracterizados por lavras a céu aberto, com maior frequência estão alocados em meio a paisagens agrícolas (ocupadas por lavouras de culturas anuais), paisagens naturais como florestas nativas e mesmo campos nativos, além de poderem estar inseridas em áreas urbanizadas. Nesse sentido, tem-se grande preocupação para que a atividade de garimpo altere minimamente a paisagem, bem como, a recuperação dessas áreas tenha ritmo acelerado e possa acompanhar o desenvolvimento normal das paisagens em seu entorno.

A exploração das lavras de mineração de pedra ágata passa por vários processos, um deles é denominado decapagem. Neste processo, o solo com maior fertilidade natural é removido (camada aproximada de 20 centímetros), amontoado e armazenado próximo a lavra para que ao final da exploração este possa compor novamente a superfície explorada. Entretanto, faltam estudos com o uso de uma

estratégia dupla, ou seja, que avaliem de forma concomitante o território e as principais características químicas e físicas dos solos das principais paisagens existentes na exploração de minerais para estudar o impacto de tal exploração na paisagem e no solo. Faltam dados sobre o efeito da armazenagem dos solos decaídos da superfície e que após exploração retornarão ao terreno formando um novo perfil de solo. Métodos para avaliar a qualidade desse solo antrópico, bem como padrões que estabeleçam a qualidade em paisagens próximas deve ser profundamente estudados.

Isso porque, para haver a plena recuperação da área minerada é necessária a restauração da fertilidade do solo possibilitando assim a recomposição da vegetação. Reduzir o tempo necessário para recuperação de uma área degradada é o fator limitante em áreas tanto para o setor produtivo (agricultura) quanto para a mineração.

1.1 Hipótese

A utilização de imagens de satélite como ferramenta de monitoramento ambiental permite identificar e classificar os usos do solo nas paisagens além de também, gerar informações que subsidiam a avaliação do impacto da exploração do território por garimpos de ágata na paisagem. Essa hipótese gera as seguintes questões de pesquisa que serão abordadas nessa dissertação:

A atividade de mineração de pedras ágatas apresenta impactos em atributos químicos e físicos de solos presentes nas paisagens sob influência do garimpo a céu aberto de pedras ágatas?

O modo como as áreas mineradas são recuperadas tem influência sobre os solos das paisagens do entorno da exploração?

1.2 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto dos garimpos na paisagem e nos solos adjacentes à exploração de ágata, e discutir sobre o impacto ambiental da exploração e as estratégias de recuperação dessas áreas.

1.3 Objetivos específicos

Seguem abaixo objetivos específicos do trabalho:

- a) desenvolver metodologia de avaliação de impacto da mineração de lavra a céu aberto, comparando sua fertilidade a dos solos das paisagens do entorno.
- b) identificar os principais usos do solo no entorno dos garimpos em raios de 200 e 600 metros.
- c) identificar os atributos químicos e físicos de solo que sofrem alterações pela exploração do garimpo.
- d) verificar se a recuperação ambiental regularizada das áreas mineradas é eficiente na recuperação dos solos.
- e) avaliar se o solo das paisagens adjacentes sofre impacto da exploração e se pode servir como padrão para a recuperação de áreas exploradas.
- f) caracterizar o ambiente de formação no qual ocorrem os geodos de ágatas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Minerais na região do Alto da Serra do Botucaraí

A Região Sul do Brasil é um dos principais centros de exploração de pedras preciosas no mundo (Figura 1).

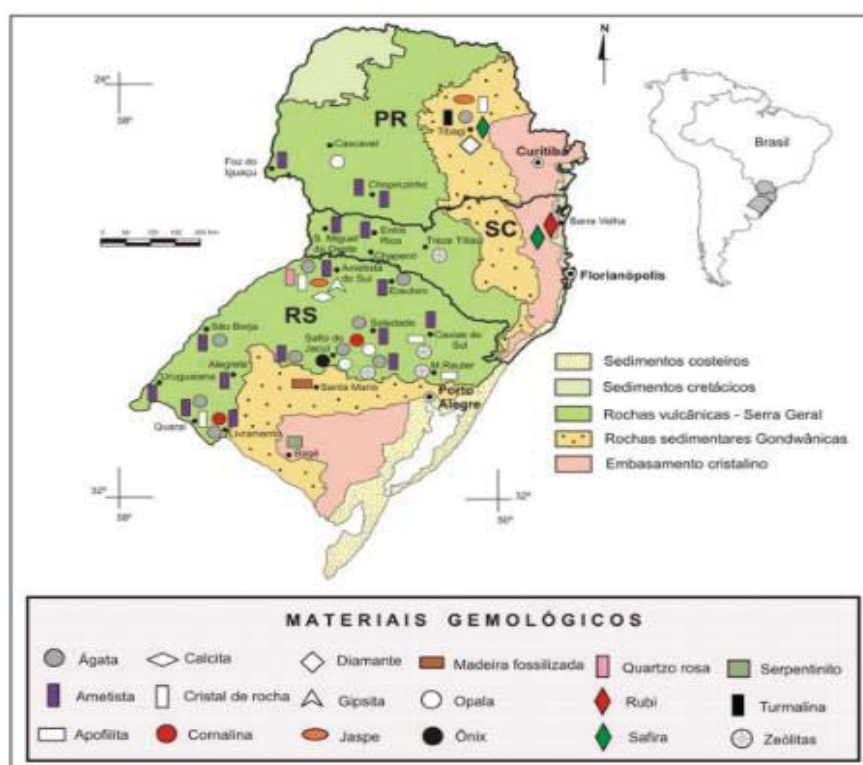


Figura 1- Mapa gemológico da região sul do Brasil (PR, SC e RS), indicando as principais unidades geológicas e as áreas de ocorrência de materiais gemológicos de interesse. Modificado de Juchem et al. (2009).

A região do Alto da Serra do Botucaraí ficou conhecida no mundo inteiro pela qualidade dos seus rebanhos, pela produção agrosilvopastoril, pela potencialidade extrativista, pela característica na fabricação de artefatos de couro, pela qualidade de suas pedras

preciosas, pelas suas reservas minerais e pela sua importância histórico-cultural (BORGES et al. 2010). As informações contidas no relatório do plano estratégico do conselho regional de desenvolvimento da região do alto da Serra do Botucaraí (Corede Botucaraí) são generalistas e não observam aspectos importantes referentes a exploração mineral da região.

Além da ocorrência de pedras ágatas, podem ocorrer outros minerais juntos aos locais de presença de ágata e ametista na região, sendo estes o quartzo cristal de rocha e quartzo rosa, opala, cornalina, onix, calcita, jaspe, zeólitas, apofilita, gipsita e barita (JUCHEM et al., 2008). Segundo Augustin et al. (2004), associado aos depósitos de ágata pode ocorrer também opala em diversas cores, mas raramente a opala preta. Diversos depósitos são explorados entre Salto do Jacuí e Soledade, constituindo um novo interesse econômico para a região.

Dentre as rochas de interesse econômico na região sul do Brasil, os geodos de pedras ágata e ametista são as que possuem maior ocorrência nessa região. Neste estudo, lançou-se um olhar mais crítico sobre a exploração de pedras ágatas na região do Alto da Serra do Botucaraí.

2.2 Legislação ambiental

A Política Nacional do Meio Ambiente, criada pela Lei Federal 6.938 de 31 de agosto de 1981, com seus diversos instrumentos criou a avaliação dos impactos ambientais sobre o meio ambiente.

Sabe-se que toda a exploração mineral ocorrida nos solos gera impacto sobre as paisagens, quando comparadas ao ambiente

natural mais próximo. Quando relatado em documentos oficiais o termo impacto ambiental, deve-se ter o entendimento descrito pelo art. 1º, da Resolução Conama nº 001/1986 (BRASIL, 1986), no qual considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultantes das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais.

A partir do momento no qual a avaliação dos impactos ambientais se tornou parte da legislação brasileira, pelos poderes federais, estaduais e inclusive local, tornou-se necessário um aprofundamento nos estudos de metodologias que avaliem este impacto (BRAGA, et al. 2005).

O artigo 6 da resolução nº 001/1986 relata as atividades técnicas mínimas pelas quais os estudo de impacto ambiental deverá transcorrer, sendo o inciso I responsável pela completa descrição do diagnóstico ambiental da área de influência do projeto, e análise dos recursos ambientais e suas interações. Dessa forma tornando-se obrigatório o estudo do entorno das explorações de lavras, as ocupações e aptidões de seus solos.

A responsabilidade sobre o passivo ambiental causado pela mineração é descrito na Lei Federal Nº 7.804 de 18 de julho de 1989 (Brasil, 2016) na qual o minerador legalmente autorizado pelas licenças ambientais é responsável pelo reparo dos danos causados ao meio ambiente.

Segundo Portaria DNPM nº 237/2001 – NRM nº 20 (Brasil, 1986), no Brasil existe a exigência da apresentação de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) ao órgão ambiental competente, durante o processo de licenciamento ambiental, para todos os empreendimentos de mineração, além de Plano de Fechamento ou de Suspensão da Mina.

O art. 3º, do Decreto nº 97.632/1989 (BRASIL, 1989), estabelece que a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização de acordo com um plano preestabelecido para uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente (ALENCAR et al., 2015).

No Brasil, a legislação ambiental fornece inúmeros instrumentos para regular as atividades de exploração mineral, diversos órgãos competentes avaliam cada atividade bem como seu passivo ambiental. Dessa forma, regularmente novas metodologias de estudos de impacto ambiental são gerados e com seus resultados apreciados por comissões especializadas, são sugeridas alterações nos instrumentos legais para aplicação de tais metodologias. Portanto, um dos objetivos deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia de estudo do impacto das atividades de lavra sobre os solos, comparativamente aos solos do entorno das explorações.

2.3 Sensoriamento remoto: usos e possibilidades

Os sistemas de informações geográficas (SIG) são poderosas ferramentas com capacidade de coletar, armazenar, transformar e representar dados referenciados a partir da superfície

terrestre, podendo ser filtrados os dados pertinentes ao propósito estabelecido gerando um produto de alta qualidade.

Conjuntamente à evolução dos computadores, os softwares de SIG também evoluíram e são capazes de extrair e processar um grande número de informações. O processamento de imagens de satélite através do sensoriamento remoto também evoluiu rapidamente e possui inúmeras aplicabilidades na sociedade moderna.

A interpretação das imagens de sensoriamento remoto sofreu uma grande contribuição oferecida com os avanços da informática, principalmente os relacionados com o advento e vulgarização do microcomputador pessoal. O uso do computador passou a ser um instrumento indispensável no processo de análise dessas imagens. Por meio das técnicas de processamento digital de imagens é possível aplicar uma série de rotinas computacionais aos dados, de modo a permitir a extração de informações específicas sobre determinadas feições de interesse do pesquisador (LUCHIARI, 2001).

Com a utilização das imagens de satélite é possível cobrir grandes extensões de terra em pouco tempo com custo baixo, extraindo destas imagens informações importantíssimas para a fiscalização ou o monitoramento das atividades sobre tais áreas.

O sensoriamento remoto é uma das principais ferramentas à disposição dos órgãos ambientais, seja para fiscalização ou mesmo monitoramento das ações antrópicas sobre o meio ambiente, e é utilizado em diversas áreas da sociedade moderna, desde a agricultura passando pela mineração e até nas grandes cidades. Estudar os distintos usos que a cobertura terrestre possui é fundamental para o entendimento das relações entre meio ambiente e a sociedade. Para este estudo, por se

tratar de pequenas extensões, optou-se pelo método de classificação visual dos usos do solo.

A interpretação visual de imagens de satélites é um método muito utilizado para o mapeamento do uso e cobertura de imagens do sensor Thematic Mapper dos satélites da série Landsat. Apesar de ser uma técnica precisa ela se torna praticamente inviável, pela grande demanda de tempo, quando aplicada a áreas muito extensas. A alternativa aos métodos manuais é o uso de métodos de classificação digital. Até recentemente, os algoritmos disponíveis permitiam a classificação automática pixel a pixel. Os resultados desses métodos, entretanto, não geravam mapas de boa qualidade, demandando um grande tempo de edição posterior às classificações obtidas (VASCONSELOS & NOVO, 2004).

Quanto menor for a área de estudo de ocupação do território, maior deve ser a precisão das imagens obtidas para o estudo. Corroborado tal afirmação, Messias (2012) estudou imagens de alta, média e baixa resolução espacial em um trabalho de mapeamento de uso do solo e cobertura vegetal, e concluiu que com imagens de alta resolução o detalhamento das classes de usos do solo fica mais preciso o que gerará informações mais detalhadas e fidedignas aos reais usos do solo.

Sano et al. (2008), realizaram um mapeamento semidetalhado do uso da terra no Bioma Cerrado Brasileiro, e classificaram os usos da terra em pastagem cultivada, culturas agrícolas, reflorestamento, área urbanas e áreas de mineração. Os segmentos correspondentes a cada classe de uso da terra foram mapeados visualmente. Encontraram a maior cobertura de solo com a

paisagem pastagem cultivada (26,5%) e culturas agrícolas com 10,5%. Isso demonstra a eficácia desse método em estudos da paisagem e seus usos.

Este estudo utilizará as imagens de satélite de alta resolução espacial para extração dos usos do solo nas paisagens do entorno das áreas de mineração de pedras ágata.

2.4 Qualidade do solo

O estudo de atributos dos solos de áreas degradadas pela mineração são importantes para a recuperação ambiental de tais áreas, como previsto na legislação brasileira. Cada tipo de mineração gera diferentes danos ao ambiente e em particular ao solo. Yada (2011) estudou a extração de cassiterita, que é feita a céu aberto (semelhante às lavras de pedra ágata) e concluiu que a extração do mineral altera sensivelmente as características do solo. Impactos diretos no solo e no subsolo causados pelas escavações, depósitos de materiais estéreis e rejeitos, construção de estradas de acesso e imposição de superfícies diferentes do relevo original também são verificados.

A avaliação de alguns atributos de fertilidade do solo permitem uma melhor recuperação das áreas degradadas pela mineração. Yada (2011) utilizou, como atributos indicadores, o pH, capacidade de troca catiônica, condutividade elétrica, teor de matéria orgânica e concentração de nutrientes.

Segundo Moreira (2004), os solos das áreas degradadas apresentam níveis baixos de nutrientes e com características físico-químicas diferenciadas, quando comparadas ao solo original. Portanto,

o êxito inicial na recuperação de um solo degradado depende das práticas de manejo a serem efetuadas no sítio e de espécies da flora regional, dando início desta forma, ao restabelecimento dos processos ecológicos.

Nesse sentido, para cada tipo de mineral de valor comercial existe um procedimento adequado para sua extração. As lavras de exploração de pedra ágata sofrem revolvimento e mistura de horizontes de solos sub superficiais. Essa mistura de material traz solo de zonas mais profundas em grandes volumes e com baixos teores de nutrientes e altos teores de alumínio. O alumínio causa toxidez às plantas, pois afeta o sistema radicular de diversas espécies, dificultando o processo de recuperação.

Todas as medidas de controle e recuperação de áreas degradadas devem estar descritas no plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD), documento este exigido pelos órgãos licenciadores para as atividades de mineração. Neste documento devem constar todas as informações referentes aos manejos implementados para a recuperação das áreas degradadas.

Dentre as principais medidas que devem ser utilizadas para o manejo de um solo degradado, incluem-se a fertilização, correção de acidez, adubação verde, adição de matéria orgânica, subsolagem bem como as práticas de conservação do solo (SPAROVEK et al., 1991; SPAROVEK, 1998). Intervenções para que a fertilidade original de solos degradados seja restituída são onerosas e carecem de monitoramento frequente. Nesse sentido, Moreira (2004) ao aplicar uma subsolagem teve efeitos positivos, refletindo em maior área da copa das árvores e produção de matéria seca do adubo verde; a

fertilização mineral e a recolocação do *topsoil* contribuíram para a melhoria da fertilidade do solo, da sobrevivência das árvores e da regeneração natural, proporcionando maior capacidade para exercer as funções de produção biológica. Somente essa estratégia foi possível porque as camadas e horizontes do solo foram separados durante as escavações. Entretanto, em muitas lavras, este processo não é realizado adequadamente por questões financeiras e operacionais, originando solos reconstruídos com características indesejáveis, como acidez elevada, desestruturação física e baixa atividade biológica.

Simmons & Arp (2012), utilizaram imagens de satélite e analisaram solos de locais adjacentes para quantificar o impacto da utilização de veículos off-road nos trilhos formados por esses veículos dentro de uma reserva ambiental no Alaska. Com a utilização de estratégia similar, este estudo apresentará uma nova abordagem na avaliação da fertilidade de áreas degradadas que pretende subsidiar processos de identificação de solos degradados de forma mais eficiente.

Estudar os solos em paisagens próximas à exploração indicando os principais atributos de solos afetados nas áreas degradadas permitiria atingir de forma mais rápida a recuperação da área degradada.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estado do Rio Grande do Sul é enquadrado no tipo climático “Cfa” segundo a classificação de Köppen, temperado com chuvas regularmente distribuídas durante o ano e com verões quentes. Existe o efeito de altitude em determinadas regiões dentro do estado, o

qual confere a regiões mais altas classificação do tipo Cfb, mais fria, encontrada em cotas com mais de 800 m (VIANA et al., 2004).

A região do alto da serra do botucaraí é composta por 16 municípios: Espumoso, Ibirubá, Victor Graeff, Tio Hugo, Soledade, São José do Herval, Nicolau Vergueiro, Lagoão, Campos Borges, Alto Alegre, Itapuca, Jacuizinho, Gramado Xavier, Fontoura Xavier, Barros Cassal e Mormaço.

Segundo o Levantamento de Reconhecimento de Solos do Rio Grande do Sul publicado no livro Solos do Rio Grande do Sul (STRECK et al., 2008), fazem parte da região do Alto da Serra do Botucaraí alguns tipos de solo, sendo a maior representatividade ocupada por Latossolo Vermelho Distrófico e Argissolo Vermelho Amarelo alumínico. Fazem parte das paisagens também o Argissolo Bruno Acinzentado alumínico, Neossolo Regolítico eutrófico e Cambissolo Háptico eutrófico.

Segundo Petter (2002) a região apresenta relevo suavemente ondulado a fortemente ondulado. Os municípios que fazem parte desta região apresentam declividade geral do oriente para o ocidente, sendo atravessado no mesmo sentido por uma elevação que forma sucessivas coxilhas e chapadões, com tendências a declividade, a qual diminui à medida que toma a direção para oeste. Ao sul da região verifica-se a presença de jazidas de basalto e, no norte, de águas termais e minerais.

Os garimpo do Alto da Serra do Botucaraí estão alocadas sobre a formação do Grupo Serra Geral, a qual domina grande parte dos estados do sul do Brasil, parte de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas

Gerais e também parte da Argentina, Paraguai e Uruguai. A Figura 2 mostra a distribuição das rochas vulcânicas na região sul do Brasil.

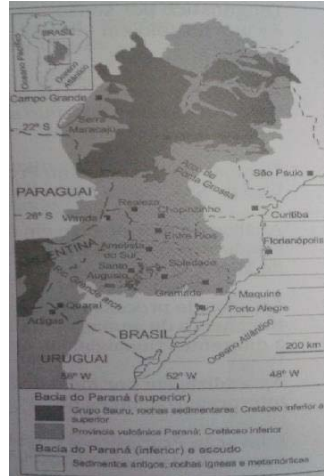


Figura 2 - Mapa geológico, rochas vulcânicas (basaltos e riódacitos) da região sul. Hartmann & Baggio (2015).

A distribuição geográfica das áreas mineradas e daquelas com processo de licenciamento aprovados abrange toda a região do Alto da Serra do Botucaraí em mais de 250 km² de raio, cujo maior centro econômico é o município de Soledade, RS.

A representação geográfica dos garimpos estudados e sua distribuição dentro dos limites municipais da região do alto da Serra do Botucaraí podem ser visualizadas na figura 3.

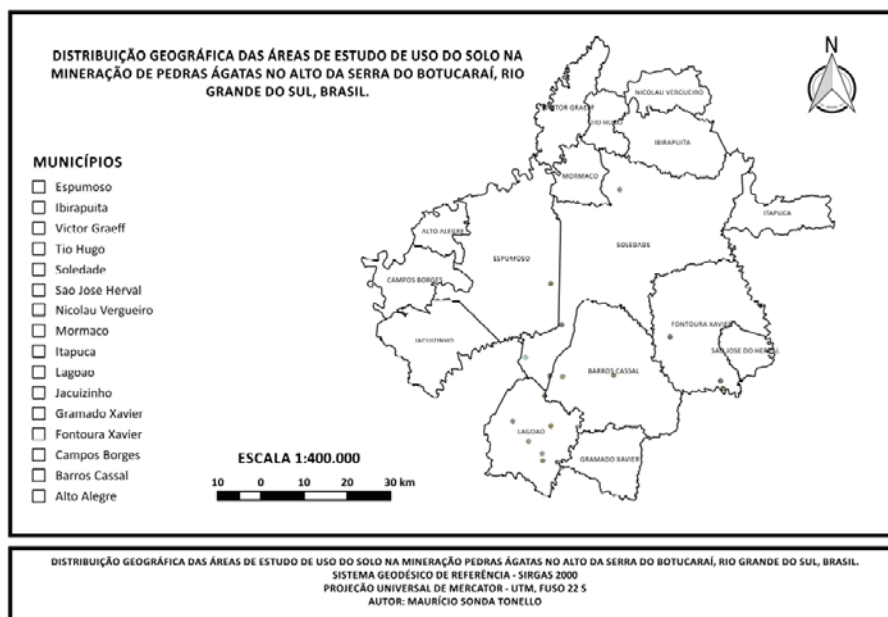


Figura 3 - Distribuição das unidades de estudo por município da região do alto da Serra do Botucarái.

O município de Lagoão possui a maior ocorrência de áreas em processo de licenciamento, são seis áreas em diversas etapas do processo de licenciamento. Em Solerdade são quatro unidades. Fontoura Xavier possui três áreas e Barros Cassal dois. E Espumoso possui apenas uma unidade.

3.1 Cartografia digital das unidades de mineração

Com o uso das coordenadas geográficas que estão presentes nos processos de licenciamento nos municípios da região do Alto da Serra do Botucarái, construiu-se mapas cartográficos de uso do solo e também se extraiu informações fundamentais quanto as paisagens que compõe a região. Para tal, foi utilizada a metodologia descrita cronologicamente abaixo.

Inicialmente realizou-se uma consulta ao site da Fundação de Proteção Ambiental (Fepam) onde se obteve as licenças publicadas e nestas a localização dos garimpos em processo de licenciamento.

Na Tabela 1 estão listadas as áreas que estão com processos em andamento junto a Fepam, indicando o tipo de licença solicitada (prévia, instalação e operação).

Tabela 1 - Identificação da área de garimpo, município e tipo de licença obtida junto à Fepam, RS

Identificação	Município	Licença obtida
01	Lagoão	Operação
09	Lagoão	Prévia
5c	Lagoão	Operação
4a	Soledade	Instalação
07	Espumoso	Operação
11	Soledade	Instalação
5b	Lagoão	Operação
5a	Lagoão	Instalação
3b	Fontoura Xavier	Prévia e de Instalações Unificadas
3a	Fontoura Xavier	Instalação
4b	Lagoão	Prévia e de Instalações Unificadas
10	Soledade	Instalação
4c	Barros Cassal	Instalação
08	Soledade	Prévia
06	Barros Cassal	Operação
02	Fontoura Xavier	Instalação

Em quase todas as licenças constavam apenas uma coordenada geográfica associada ao seu Datum e o tamanho da área em hectares (ha). Dessa forma as extremidades do polígono não puderam ser determinadas, assim buscou-se identificar visualmente nas imagens posteriores o local onde a lavra estava inserida, quando esta existia.

Inseriu-se as coordenadas no software Google Earth Pro® a fim de localizá-las geograficamente e visualizar sua distribuição na região de estudo. A distribuição dos garimpos foi estudada de forma a

agrupar os mais próximos para posterior aquisição de um número menor de imagens aéreas, garantindo menor custo para o trabalho.

Com esse agrupamento adquiriu-se nove imagens de satélite com 25 km² cada (área mínima fornecida pela empresa) e mais duas de 35 km² que juntas cobriram os 16 garimpos repertoriados na Fepam.

Através do software Google Earth Pro®, desenhou-se rotas sobre as estradas para acessar as áreas de mineração, esses roteiros contemplavam as 16 áreas licenciadas. Partiu-se da coordenada informada pela licença ambiental e dela retornou-se a estrada principal mais próxima. Esses roteiros percorriam estradas primárias e secundárias nos municípios de Espumoso, Soledade, Barros Cassal, Lagoão e Fontoura Xavier.

Com o auxílio dos 16 roteiros, percorreu-se a região e com o apoio em determinados momentos por moradores locais, bem como um equipamento receptor de GPS sub-métrico Zeno5, obteve-se sucesso em dez dos 16 garimpos. Seis áreas não foram localizadas com uso do roteiro criado no software, e nem pelo conhecimento de moradores locais. Em muitos casos, o roteiro produzido não condizia com as estradas secundárias ou terciárias que dariam o acesso as lavras. Além disso, muitas áreas pertencem a empresas privadas ou os proprietários das minas não residiam na região e sua identificação pelas pessoas da comunidade tornou-se muito restrita.

Nestas dez áreas coletaram-se amostras de solo (metodologia descrita no capítulo específico) e realizou-se a caracterização do ambiente (paisagem e vegetação) por meio de registro fotográfico.

De posse das coordenadas das áreas adquiriu-se imagens de satélite com características que permitiram visualizar com precisão as lavras de ágata e as paisagens próximas a exploração. As imagens foram adquiridas em alta resolução da empresa Engesat, e com estas realizou-se a detecção das paisagens e sua distribuição próxima às áreas de garimpo.

As imagens adquiridas possuem resolução espacial na banda pancromática de 0,7 metros. As demais bandas, azul, verde, vermelho e infravermelho próximo são de 2,8 metros. A resolução espectral das imagens na banda pancromática é de 450 a 900 nanômetros (nm). Para a banda azul a faixa é de 450 a 520 nm. A banda verde é de 520 a 600 nm. A vermelha é de 630 a 690 nm. Infravermelho próximo é de 760 a 920 nm. A resolução radiométrica é de 8 bits. As imagens não receberam nenhum tipo de equalização (contraste/brilho) por parte do fornecedor. Os erros permitidos nas imagens são de 24 metros para erro circular (CE) e erro vertical de 14 metros. A Figura 4 exemplifica uma das imagens adquiridas para aplicação dos tratamentos e a extração das informações necessárias.

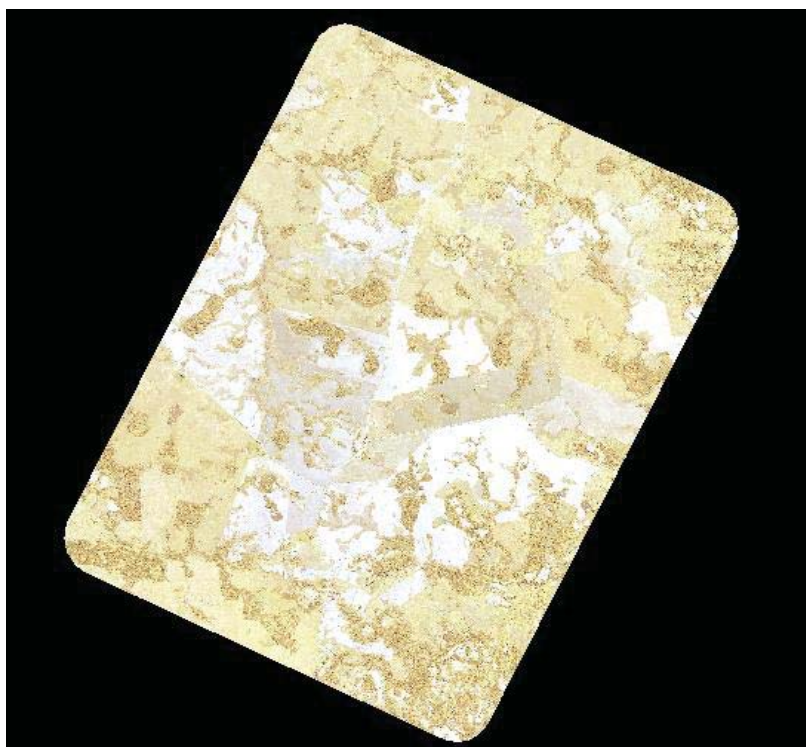


Figura 4 - Imagem de satélite adquirida sem os tratamentos para o estudo.

Na Tabela 2 estão descritas as imagens e as datas de aquisição pelo satélite KompSat.

Tabela 2 - Data de aquisição e área coberta das imagens adquiridas para estudo

Imagem	Unidade	Data aquisição	Extensão
6	6	2014/Janeiro	25 km ²
11	11	2013/Janeiro	25 km ²
7	7	2013/Janeiro	25 km ²
2	2	2012/Maio	25 km ²
8	8	2014/Setembro	25 km ²
9	9	2012/Novembro	25 km ²
10	10	2013/abril	25 km ²
1	1	2012/Novembro	25 km ²
4	4a/4b/4c	2012/Novembro	35 km ²
3	3a/3b	2014/Agosto	25 km ²
5	5a/5b/5c	2012/Novembro	35 km ²
Total			295 km ²

A data de aquisição das imagens variou de modo a melhor visualizar os alvos, evitando dias nublados e outras interferências naturais. Nesse sentido, as imagens cobriram as unidades de estudo de maio de 2012 a agosto de 2014.

Todas as 11 imagens foram processadas no software livre QGIS. Este é um *software* de sistemas de informações geográficas, o qual foi configurado para trabalhar no sistema de projeção (DATUM) SIRGAS 2000, com sistema de projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), para que medições de área e comprimento pudessem ser realizadas.

Utilizou-se o Google Earth Pró® no qual identificou-se e foi marcado o ponto central do garimpo quando este havia, ou então a coordenada fornecida pelas licenças ambientais. A partir deste ponto, criou-se um raio de 200 metros e um de 600 metros. Cada círculo (raio 200 m e 600 m) foi salvo em formato KML formato reconhecido pelo software QGIS.

No QGIS, efetuou-se a transformação dos círculos que continham características de poligonal aberta, transformando-os para polígono fechado através da ferramenta Vetor>Geometrias>linhas para polígonos, permitindo assim o posterior corte da imagem. Manteve-se as mesmas projeções das imagens na camada contendo os círculos. Após essa transformação, salvou-se o arquivo em formato *shape*. Esse processo foi realizado para todas as imagens e os dois raios considerados.

Inicialmente efetuou-se o georreferenciamento da imagem, através da ferramenta georreferenciador. Os garimpos representados nas imagens (tanto os visitadas como os não visitados) foram

uniformizadas nesse processo, onde optou-se por selecionar pontos destacados em cada imagem através de um estudo visual no Google Earth Pró®, retirou-se as coordenadas desses pontos (utilizou-se quatro pontos, um em cada extremo, leste, oeste, sul e norte das imagens) para proceder ao geoprocessamento. Utilizou-se feições bem destacadas como galpões, estradas, grandes rochas, entre outras para utilizar como pontos de controle e obter melhor precisão no georreferenciamento e correção das imagens.

Importou-se para o QGIS a camada contendo seu respectivo círculo com raio de 600 metros, e a imagem e seu círculo correspondente foram sobrepostos, demarcando assim a região objeto de estudo. Com a ferramenta de corte do QGIS, uma nova imagem com área circular de raio 600 metros foi criada. As imagens foram utilizadas posteriormente na classificação das paisagens (usos do solo). Esse procedimento foi repetido para todas as 16 áreas de garimpo.

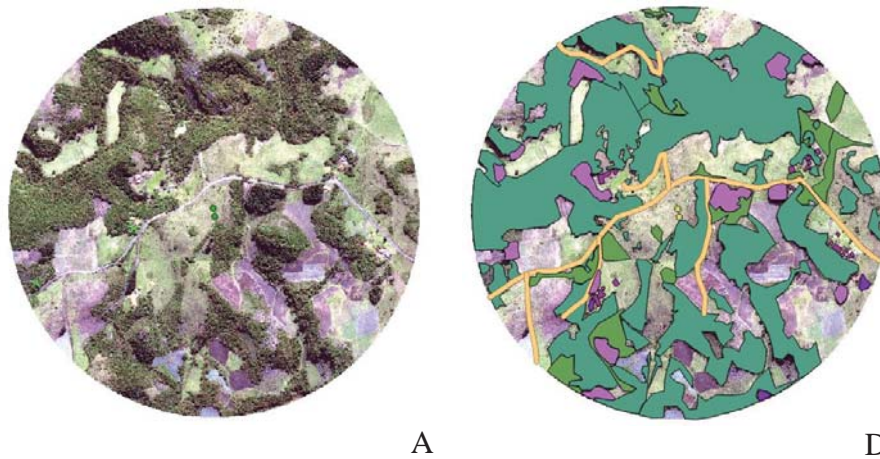
A classificação das paisagens seguiu um estudo preliminar das imagens onde se definiu as categorias principais de uso do solo (tipificação da paisagem) presentes em todas as áreas de estudo, denominadas da seguinte forma:

- Bosques: áreas com plantio de eucalipto, pinus ou outras florestas manejadas e com predominância visual de uma única espécie arbórea.
- Campestres: áreas de vegetação herbácea, sejam elas campos nativos ou com ação antrópica e áreas onde há manejo de animais (pastagens).
- Construções: galpões, casas e demais áreas cobertas por telhado.
- Estradas: áreas de trânsito frequente de veículos e animais.
- Espelho de água: áreas cobertas com lâmina de água, sejam elas rios, açudes ou barragens.

- Mata nativa: regiões cobertas com florestas naturais com pequena modificação antrópica.
- Lavouras: áreas que possuem solo preparado ou cobertura verde uniforme que caracterize ação antrópica de cultivo.

Após a determinação dos usos do solo (lavoura, mata nativa, campestre, estradas, espelho de água, construções e bosques), criou-se uma camada referente a cada uso, para cada unidade de estudo e para cada raio. Utilizou-se para isso a ferramenta de classificação, alternar edição>adicionar feição do QGIS.

A Figura 5 mostra um exemplo no qual a metodologia de classificação visual foi aplicada. Esse método foi replicado para cada uma das áreas em estudo, na qual as feições foram uma a uma substituídas por polígonos, os quais no final do processo tiveram suas áreas extraídas através do uso da tabela de atributos.



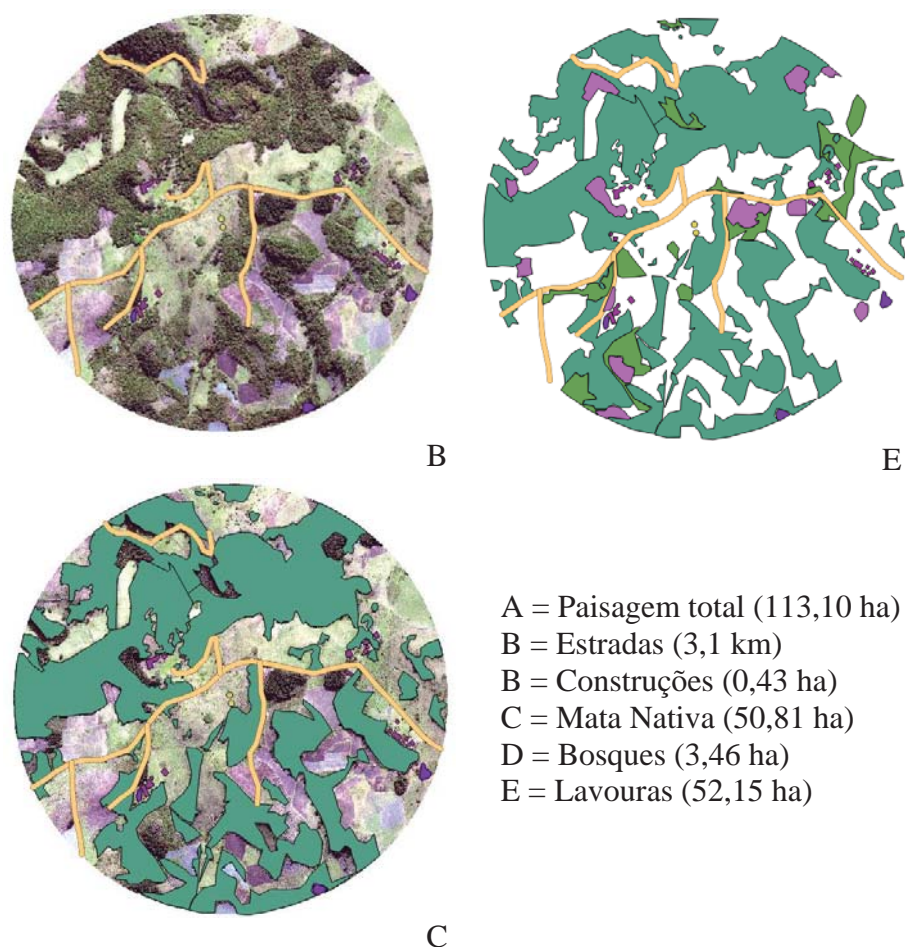


Figura 5 - Procedimento utilizado para a classificação das paisagens. A: Imagem sem nenhuma paisagem classificada. B: Classificação da paisagem estrada. C: Classificação da paisagem estrada, construções e mata nativa. D: Classificação da paisagem estrada, construções, mata nativa e bosques. E: Todas as paisagens classificadas e retirada da imagem de fundo para cálculo da área coberta com lavouras.

Todos os usos do solo (paisagens) foram classificados manual e visualmente. Delimitou-se manualmente um polígono para cada uso do solo em cada imagem dentro do raio de seiscentos metros. Definiu-se o contorno de cada paisagem, formando vários polígonos pelos quais com o uso da ferramenta tabela de atributos>calcular área, do QGIS foi obtido a área superficial de cada polígono, e efetuando a

soma de todos os polígonos de mesma classe de uso, obteve-se a área ocupada pela paisagem.

A área total de cada imagem ($r = 600$ m) foi calculada através da fórmula ($\pi \times \text{raio}^2$), totalizando 113,10 hectares de área, ou 1.131.000 metros quadrados. Efetuou-se a classificação das paisagens com menores abrangências visuais, e deixou-se por último a classificação do uso do solo que possuía a maior área.

Arquivos em formato DBF (dBASE table) foram produzidos no QGIS e no *software* Excel® os mesmos foram formatados permitindo assim calcular a área de cada polígono, de cada feição e a obtenção do resultado total da distribuição de cada paisagem dentro do raio de estudo.

Ao final, somaram-se todas as áreas das feições menores, e diminuiu-se da área total, dessa forma encontrou-se a área da maior feição. A feição estrada, para que pudesse ser contabilizada como área, seu valor de comprimento foi multiplicado pelo fator 4 (que representaria uma média de quatro metros de largura das estradas), e dividido por dez mil para que seu valor estivesse em hectares e permitissem sua comparação.

Após a conclusão do trabalho de classificação das feições no raio de seiscentos metros, salvou-se individualmente cada projeto e importou-se uma nova camada. Camada essa que possuía o raio de 200 metros para a imagem a ser estudada.

Já previamente configurada essa camada vetorial, utilizou-se a ferramenta de corte do software para cortar a imagem e também as camadas vetoriais que representavam as feições. Assim obteve-se o raio de 200 metros com a classificação das paisagens (figura 6).

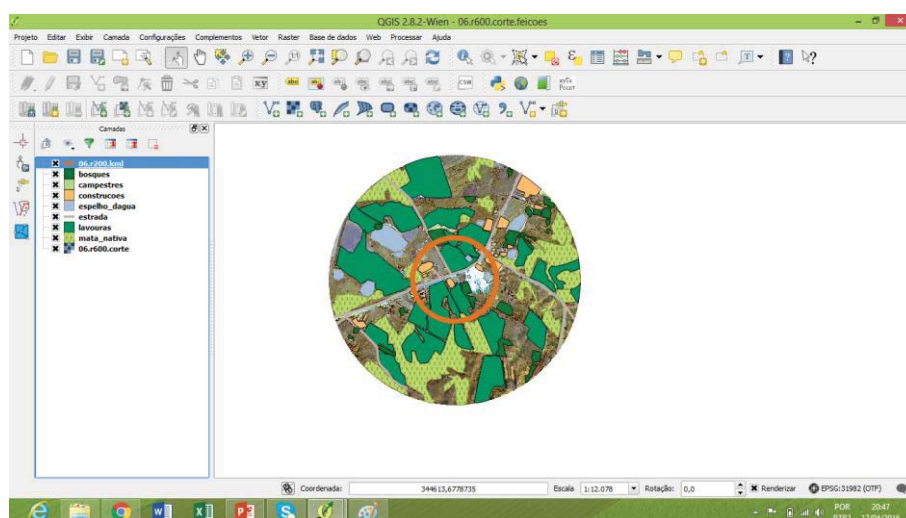


Figura 6: Representação do raio de duzentos metros cortando todas as paisagens. Para o estudo da ocupação do solo no raio de duzentos metros fez-se o corte e a posterior leitura de cada paisagem dentro do raio.

Da mesma forma, construíram-se tabelas contendo os atributos quantitativos das áreas em formato DBF no Excel®. Construíram-se as tabelas de uso do solo nas paisagens e utilizou-se a ferramenta do compositor de impressão do QGIS para produção de cartogramas temáticos, os quais se encontram nos apêndices deste trabalho.

A estratégia dos dois raios de estudo visa determinar qual o menor raio capaz de representar adequadamente as paisagens no entorno das unidades estudadas.

3.2 Qualidade do solo

A amostragem de solo foi realizada nas unidades estudadas, e dentro das paisagens situadas próximas às lavras: i) dentro da área

onde ocorre a exploração, no ponto de maior profundidade da escavação (quando houver exploração); ii) em área de lavoura, em local próximo a escavação (quando houver); iii) em área de mata nativa próxima a exploração (ou pequenos bosques com espécies nativas); ou iv) em área de vegetação campestre (campo nativo) próximo à área explorada. Para cada coleta de solo, coordenadas foram registradas com uso do GPS com precisão sub métrica, modelo ZENO5 da Leica.

A coleta de amostras de solo foi realizada com uma pá-de-corte na profundidade de 20 cm. Em cada paisagem, realizou-se a coleta em três repetições em três pontos diferentes dentro de um raio de dez metros da coordenada geográfica informada ou do local determinada a campo. Como exemplo ilustrativo a Figura 6 detalha 4 unidades visitadas e as suas paisagens componentes.

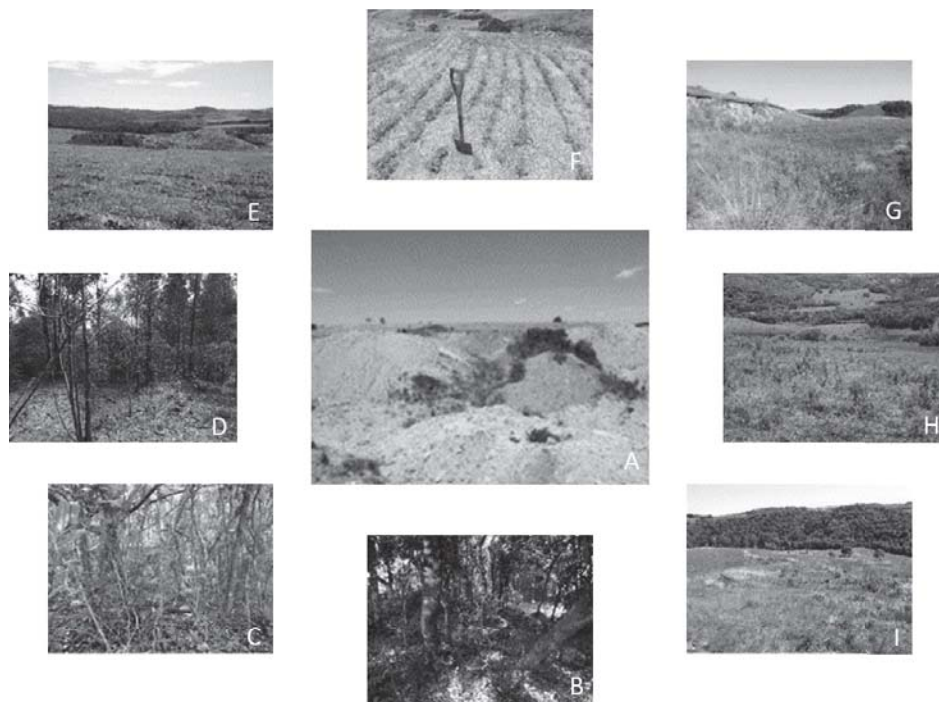


Figura 7 - Esquema exemplificando as paisagens nas quais foram coletadas as amostras de solo. Em todas as paisagens de cada unidade foram

coletadas 3 amostras de solo. A é uma exemplo da paisagem garimpo. B, C, D são paisagens de mata nativa. E e F são paisagens de lavoura. G, H e I são paisagens campestre.

As amostras de solos coletadas foram acondicionadas em recipientes e devidamente identificadas para envio ao laboratório de Uso e Manejo do Território e de Recursos Naturais da Universidade de Passo Fundo para realização de análises químicas e físicas previstas no estudo. Foram realizadas as análises de densidade do solo, porosidade total, umidade das amostras e granulometria (porcentagem de areia, silte e argila realizada pelo método da pipeta) segundo a metodologia proposta pela Embrapa (1997).

As amostras para análise granulométrica foram submetidas a dispersão química e mecânica, e após esse procedimento obteve-se a fração areia (>53 μm) por peneiramento, e as porções silte (2-53 μm) e argila (<2 μm), por pipetagem (EMBRAPA, 1997).

Utilizou-se a metodologia proposta por Mathieu & Pieltain (1998) para determinação da densidade do solo, onde utilizou-se torrões com tamanho aproximado de 2 cm de diâmetro e densidade do querosene de 0,817 g cm^{-3} .

A caracterização da química do solo, foi realizada por meio das análises do teor de matéria orgânica, pH em água e pH SMP (SHOEMAKER et al., 1961). Teor de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, zinco, cobre e manganês pela metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

O pH em água determinou-se utilizando 5 gramas de solo na proporção de 1:1 (solo:água) (TEDESCO et al., 1995). Os teores de cobre e zinco foram determinados com a utilização de

espectrofotômetro de absorção atômica (EAA), com chama produzida com a utilização do gás acetileno. Para o cálculo do pH SMP utilizou-se a metodologia proposta por Shoemaker et al. (1961).

Para o elemento fósforo (P), utilizou-se um espectrofotômetro V-visível na absorbância de 660 nm. Para a determinação do potássio (K) utilizou-se o gás GLP em espectrofotômetro de emissão de chama. Utilizou-se a espectrometria de absorção atômica após a extração por KCl (1 mol L⁻¹) para os elementos cálcio, magnésio e manganês.

Para determinação do alumínio (Al) utilizou-se como extrator o KCl (1 mol L⁻¹), estimando seus valores pela titulação ácido-base, com o uso de NaOH (0,0125 mol L⁻¹), (TEDESCO et al., 1995).

A determinação de carbono orgânico dos solos foi avaliada segundo metodologia proposta por Rheinheimer et al. (2008), seguindo o método de combustão úmida em bloco digestor. Para determinar o teor de matéria orgânica, multiplicou-se o valor obtido de carbono orgânico por 1,724.

Uma análise de elementos totais foi realizada com um equipamento de fluorescência de raios X por energia dispersiva, marca Bruker, modelo S2 Ranger. Entre 9-10 g de amostras de solos em pó, moído em gral e secas ao ar, foram colocadas em recipientes contendo membrana Mylar 3,6 microns CAT Numero3014, com 76,2 mm de diâmetro. No S2, as leituras ocorreram em atmosfera de Gás Hélio (2 kgf de pressão).

Os resultados dos teores totais dos elementos do solo e também de pós de ágata servirão para caracterizar as paisagens e o ambiente no qual são formadas as pedras ágatas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e suas respectivas discussões são apresentados em duas seções. O primeiro versa sobre a ocupação do solo nas paisagens próximas as lavras, usando-se técnicas de sensoriamento remoto; o segundo, sobre a caracterização do solo, utilizando-se atributos físicos e químicos de solos.

4.1 Cartografia digital

A Tabela 3 apresenta o uso do solo nas diversas paisagens nas 16 unidades estudadas, tomando-se por base uma observação de um raio de seiscentos metros a partir do ponto central (área minerada).

No total das áreas, a paisagem mata nativa obteve a maior ocupação do território de estudo, atingindo 35,48 %. A segunda maior ocupação do território estudado foi a campestre com 31,86 %, seguida pelas lavouras com 28,92 %. Juntas essas três paisagens ocupam 96,28 % do território quando estudou-se a ocupação do solo pelas paisagens no raio de seiscentos metros.

Tabela 3– Área de solo ocupada pelas paisagens no raio de 600 metros: Mata Nativa (MN), Campestre (C), Lavoura (L), Bosques (B), espelho de Água (EA), Estrada (E), Construções (CN)

Garimpos	MN	C	L	B	EA	E	CN	Total
Hectares								
1	50,80	5,72	52,44	3,46	0,22	0,82	0,43	113,89
2	76,56	24,06	11,78	0,68	0,00	0,69	0,01	113,79
3a	76,05	13,65	17,93	4,88	0,00	1,32	0,25	114,08
3b	16,29	55,80	40,92	10,36	0,08	0,59	0,01	124,06
4a	8,180	18,45	83,50	0,00	2,83	0,51	0,14	113,61
4b	22,15	54,34	30,81	1,32	3,59	0,52	0,89	113,62
4c	67,30	27,96	16,20	0,00	0,67	0,82	0,80	113,76
5a	31,20	72,24	7,900	0,00	0,89	0,83	0,87	113,93
5b	38,88	55,70	18,05	0,00	0,00	0,54	0,47	113,64
5c	52,44	47,99	12,37	0,00	0,06	1,71	0,24	114,82
6	19,90	51,86	32,10	3,73	3,02	0,61	2,49	113,72
7	17,20	40,80	54,85	0,00	0,07	0,41	0,17	113,50
8	37,19	4,870	71,05	0,00	0,00	0,25	0,00	113,36
9	62,34	36,96	12,41	1,33	0,06	0,64	0,24	113,98
10	64,11	27,56	8,920	6,90	5,10	0,59	0,51	113,69
11	9,20	45,39	58,43	0,00	0,00	0,32	0,00	113,34
Total	649,7	583,3	529,6	32,66	16,59	11,2	7,52	1830,7
%	35,48	31,86	28,92	1,78	0,90	0,61	4,10	100

A Tabela 4 apresenta o resultado da ocupação do solo em cada paisagem num raio de estudo de duzentos metros em cada unidade estudada. Com um raio menor, ocorreu uma inversão da ordem de importância de ocupação do solo, sendo a paisagem campestre a com maior ocupação (37,67%), seguida pela lavoura (33,10%) e com a terceira maior ocupação a mata nativa (26,40 %). Juntas as três paisagens totalizaram 97,17 % do território de abrangência.

Nascimento et al. (2006), ao utilizarem metodologia similar, diagnosticaram 12 tipos de uso do solo, sendo as três mais abrangentes paisagens foram cafezal, pastagem e fragmento florestal de uma bacia hidrográfica com uma ocupação de 92,16 % do território estudado.

Neste estudo, o uso do solo em ambos os raios, fica evidente que a paisagem adjacente aos garimpos é composta por áreas já anteriormente antropizadas. Juntas, as ocupações de lavoura e campestre atingiram 70,72% (raio de 200 metros) e 60,78% (no raio de 600 metros) nas minas estudadas.

As paisagens bosques, espelho-de-água, estradas e construções apresentaram grandezas de ocupação similares entre si, tanto no raio de duzentos como no raio de seiscentos metros. Considerando um raio de seiscentos metros, essas paisagens, juntas, ocuparam apenas 3,72 % do território, enquanto no raio de duzentos metros, o somatório não ultrapassou 2,83%.

Tabela 4 – Área de solo ocupada pelas paisagens no raio de 200 metros: Mata Nativa (MN), Campestre (C), Lavoura (L), Bosques (B), espelho de Água (EA), Estrada (E), Construções (CN)

Garimpo	MN	L	C	B	EA	E	CN	Total
Hectares								
1	2,80	8,230	0,680	0,62	0,000	0,330	0,006	12,66
2	6,13	1,360	5,260	0,00	0,000	0,000	0,000	12,75
3a	7,02	2,540	1,820	1,13	0,000	0,300	0,050	10,32
3b	0,00	7,600	4,960	0,00	0,000	0,280	0,000	12,84
4a	0,77	8,620	3,160	0,00	0,000	0,220	0,000	12,77
4b	3,51	4,920	4,130	0,00	0,000	0,000	0,000	12,56
4c	5,32	0,000	7,240	0,00	0,000	0,100	0,000	12,66
5a	1,04	0,000	11,51	0,00	0,000	0,270	0,000	12,82
5b	2,12	1,320	9,120	0,00	0,000	0,140	0,000	12,70
5c	5,15	0,000	7,400	0,00	0,000	0,100	0,083	12,74
6	0,90	8,830	1,420	0,98	0,300	0,250	0,130	12,81
7	4,05	4,900	3,610	0,00	0,000	0,000	0,000	12,56
8	1,03	11,53	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	12,56
9	4,68	0,320	7,470	0,00	0,050	0,260	0,029	12,81
10	8,47	0,000	4,000	0,00	0,080	0,000	0,000	12,55
11	0,00	8,740	3,820	0,00	0,000	0,000	0,000	12,56
Total	52,99	66,37	75,60	2,73	0,44	2,28	0,298	200,7
%	26,40	33,06	37,66	1,36	0,21	1,13	0,01	100

Dentro do raio de estudo de 600 metros para cada mina, a área de abrangência foi de um total de 1.830,78 hectares, e seus respectivos usos estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Usos do solo em hectares (ha) nos raios de seiscentos e duzentos metros

Usos do solo	R 600		R 200	
	ha	%	ha	%
Campestres	583,35	31,86	75,60	37,65
Mata Nativa	649,79	35,49	52,99	26,40
Lavoura	529,66	28,93	66,37	33,06
Bosques	32,660	1,780	2,730	1,360
Espelho de Água	16,590	0,900	0,440	0,210
Construções	7,5200	0,410	0,290	0,140
Estradas	11,210	0,610	2,280	1,130
Total	1830,78	100	200,709	100

Tão importante quanto a observação das paisagens que ocupam o solo, é a sua posição (altitude) no relevo. Para auxiliar na compreensão das paisagens, a tabela 6, apresenta as cotas altimétricas das unidades estudadas, e a sua composição de paisagens próximas, nas quais efetuou-se as coletas de solo.

A unidade 5a estava alocada na parte mais alta do relevo da região, já, a unidade 10 estava alocada em meio a uma encosta suave e longa. A unidade 11 estava alocada em meio a uma encosta mais curta e íngreme. A unidade 7 encontrava-se em posição mais baixa do terreno, em uma área onde se percebia o acúmulo de água da chuva próximo ao garimpo. Entretanto, todas as paisagens próximas aos garimpos de pedras ágatas nesse estudo encontram-se em elevada altitude em relação à média da região do Alto da Serra do Botucaráí.

Tabela 6 - Altitude do ponto mais alto no relevo e composição das paisagens nos garimpos visitados

Garimpos	Tipificação da Paisagem	Altitude
4b	Pastagem	655
	Campestre	
	Lavoura	
	Mata nativa	
10	Garimpo	557
	Mata nativa	
	Campestre	
5b	Mata nativa	500
	Lavoura	
	Campestre	
9	Lavoura	591
	Campestre	
	Mata nativa	
5 ^a	Lavoura	541
	Campestre	
	Mata nativa	
8	Mata nativa	531
	Campestre	
7	Campestre	558
	Lavoura	
6	Garimpo	560
	Mata nativa	
	Campestre	
11	Garimpo	616
	Campestre	
4a	Lavoura	663
	Mata nativa	
	Campestre	

Em relação à posição na paisagem, verificou-se uma variação de 132 metros entre a cota mais baixa (531 metros) e a maior cota altimétrica (663 metros) em relação ao nível do mar, essa leitura foi tomada com o receptor de GPS.

A Figura 8 traz a posição geográfica de cada unidade de estudo nas suas altitudes, demonstrando a coerência existente na posição mais alta das paisagens. As cotas estão distribuídas com diferença de vinte metros entre cada uma, sendo que grandes concentrações de cotas significam maiores altitudes (quanto mais densa as linhas, maior a altitude do terreno).

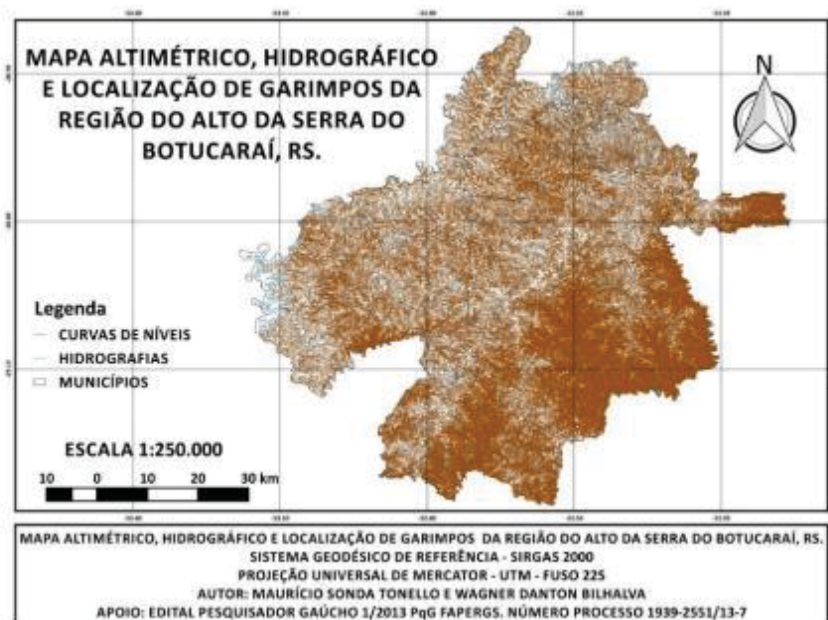


Figura 8 - Mapa temático contendo dados altimétricos, hidrográfico e da localização dos garimpos de pedras ágata da Região do Alto da Serra do Botucarái, Rio Grande do Sul.

Durante a classificação dos usos do solo, percebeu-se que as unidades de estudo 4b, 8 e 11 apresentaram características visuais semelhantes as minas 6 e 7 (que apresentaram exploração ativa) demonstrando a possibilidade de ocorrência de exploração ilegal de pedras. A Figura 8 apresenta dois cartogramas de uso do solo da unidade 4b (esquerda) e 6 (a direita). A unidade 6 apresenta exploração

ativa e grande movimentação de solo que pode ser verificada pela cor branca no centro do mapa. A unidade 4b (Figura 8) bem como as unidades 8 e 11 apresentam essa mesma característica branca associada ao revolvimento do solo.

As unidades 6 e 7 possuem exploração ativa de pedras ágata. A unidade 4a quando visitada em novembro de 2014 apresentava-se com pastagem nativa, já a imagem desta mesma área coletada em janeiro de 2013, evidencia que o solo encontrava-se exposto ou removido superficialmente, com características visuais idênticas às unidades 6 e 7 (Figura 9).

No apêndice deste documento estão alocados os mapas de uso do solo e em diversas unidades ocorrem em distintos pontos do mapa a mesma característica visual de revolvimento de solo.



Figura 9 - Mapa de usos do solo das unidades 4b (esquerda) e 6 (direita), demonstrando aspectos similares de revolvimento do solo ao centro (unidade 6) e na parte superior (unidade 4b).

Na visita a campo, a unidade 4b mostrou aspectos de revolvimento do solo, indicando ação antrópica de exploração de pedras, todo o solo estava muito irregular e com pouca vegetação sobre a superfície, além de possuir resquícios de geodos de ágata sobre a superfície (Figura 10).

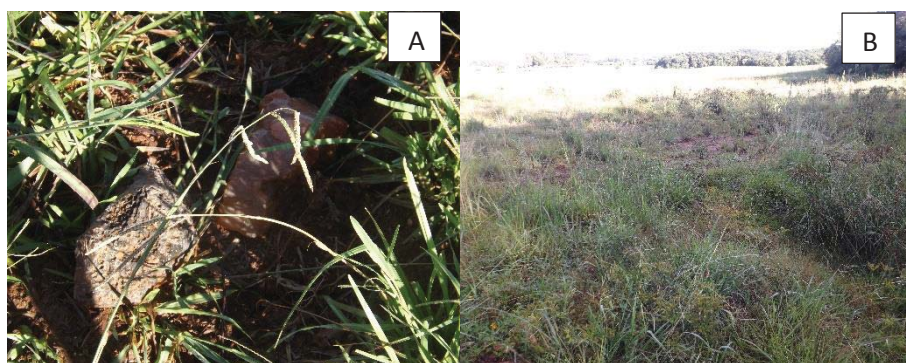


Figura 10 - retalho de pedras ágatas sobre a superfície (A). Solo revolvido e com pouca vegetação sobre a superfície (B), município de Lagoão, RS.

As áreas 3B, 4B, 5B e 8, apresentaram as mesmas características de exploração do solo em pontos isolados dentro do raio de estudo (apêndices). Alguns proprietários solicitaram licenças ambientais de grandes extensões para exploração. A área 3B possui licença de instalação para exploração de lavras a céu aberto de uma área de 365 hectares. São verificados pequenos revolvimentos de solo na área de estudo, mas não se pode ter certeza de que são provenientes de lavras ou então abertura de lavouras para culturas anuais ou mesmo processos de micro escavações para prospecção de pedras preciosas.

Durante os procedimentos de abertura de lavouras, os quais requerem o revolvimento do solo, podem ocorrer afloramentos das pedras, tais como as ágatas, e essa lavoura poderá ser ocupada por uma pequena lavra com exploração ilegal.

Assim, pode-se inferir que as imagens adquiridas para o estudo do uso do solo são eficazes para prospecção e monitoramento de uso do solo, e ainda permitem a fiscalização das atividades exploratórias legais ou ilegais da região.

4.2 Qualidade do solo

4.2.1 Caracterização dos solos nas paisagens

Segundo o levantamento exploratório de solos do Rio Grande do Sul, as unidades de estudo estão inseridas em regiões onde predomina o Argissolo Vermelho Amarelo Alumínico. O Argissolo é caracterizado pela presença de um horizonte A qualquer e um sub superficial mais argiloso (Bt). Estes são solos geralmente profundos a muito profundos, variando de bem drenados a imperfeitamente drenados, apresentando um perfil com sequência de horizontes A-Bt-C ou A-E-Bt-C onde o Bt é do tipo textural (STRECK et al., 2008).

Não se realizou a caracterização do perfil dos solos e seus horizontes, mas na tabela 7 e 8 são apresentados os teores médios (composto de três repetições) para cada atributo em cada paisagem, com seu respectivo desvio padrão. Cada paisagem (mata nativa, campestre, garimpo e lavoura) foi caracterizada utilizando-se para isso os mesmo atributos físicos e químicos do solo.

Tabela 7 - Teor médio e desvio padrão dos atributos químicos e físicos de solo estudados nas paisagens campestre, mata nativa, lavoura e garimpo de todas as unidades de estudo

	Cu	Zn	Mn	CTC	CTC	CTC pH 7	D.S	D.P	Areia	Silte	Argila	
	mg kg ⁻¹			cmolc kg ⁻¹			g cm ⁻³			%		
	Efetiva											
Campestre	7,20 (6,70)	50,50 (39,10)	79,60 (47,70)	12,40 (3,10)	35,4 (14,1)	1,45 (0,47)	2,56 (0,28)	50,4 (13,6)	17,3 (9,3)	32,3 (11,1)		
Mata nativa	2,30 (1,90)	84,60 (43,20)	91,00 (29,90)	11,50 (2,10)	27,80 (6,20)	1,20 (0,10)	2,6 (0,2)	42,2 (9,7)	27,80 (4,60)	29,90 (6,90)		
Lavoura	7,60 (4,50)	57,50 (38,90)	72,00 (43,40)	14,20 (6,50)	32,40 (20,70)	1,30 (0,20)	2,60 (0,20)	47,7 (14,2)	19,40 (4,00)	32,90 (11,50)		
Garimpo	11,50 (11,00)	73,60 (33,10)	53,60 (32,20)	25,90 (4,20)	68,70 (6,20)	1,20 (0,10)	2,60 (0,20)	51,70 (4,30)	23,30 (6,80)	25,00 (6,30)		

MO é matéria orgânica; CTC efetiva (Na+K+Ca+Mg+Al); CTC pH7 (Na+K+Ca+Mg+H+Al); Desvio padrão entre parênteses.

Tabela 8 - Teor médio e desvio padrão dos atributos químicos e físicos de solo estudados nas paisagens campestre, mata nativa, lavoura e garimpo de todas as unidades de estudo

Paisagem	pH Água Índice	SMP	Al cmolc kg ⁻¹	MO %	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	Ca cmolc kg ⁻¹	Mg cmolc kg ⁻¹
Campestre	4,90 (0,30)	4,60 (0,60)	4,00 (2,70)	2,50 (1,10)	16,20 (22,10)	23,90 (14,80)	5,60 (3,00)	2,60 (1,20)
Mata nativa	5,10 (0,50)	5,00 (0,30)	1,10 (1,50)	3,70 (0,50)	38,60 (26,80)	46,60 (23,20)	7,60 (2,80)	2,60 (0,90)
Lavoura	4,80 (0,40)	4,80 (0,60)	4,30 (4,60)	2,20 (1,30)	19,20 (18,90)	37,30 (35,10)	7,10 (1,90)	2,70 (0,90)
Garimpo	5,00 (0,30)	3,80 (0,10)	14,8 (5,50)	0,40 (0,30)	4,90 (3,70)	29,90 (19,90)	7,30 (2,30)	3,70 (0,80)

DS é densidade do solo realizado por imersão em querosene; DP densidade de partícula realizada em imersão com álcool etílico (Embrapa, 1997); Desvio padrão entre parênteses.

A maior densidade do solo foi observada no solo sob paisagem campestre, de $1,45 \text{ g cm}^{-3}$. Vale lembrar que a paisagem campestre é representada exclusivamente por campos nativos em todas as unidades estudadas. Apesar da falta de informações sobre o manejo e o histórico de cada unidade, havia a presença de animais em todas as unidades com paisagem campestre, o que sugere o uso tradicional como criação de animais. O pastoreio pelo gado com lotação excessiva, aliado a falta de um manejo adequado da fertilização, pode provocar um baixo incremento de matéria seca na pastagem e conseqüentemente maior compactação comparativamente as demais paisagens.

A capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7 e a CTC efetiva obtiveram maiores valores na paisagem do garimpo (68,70 e 25,90 cmolc kg^{-1}). A coleta do solo no garimpo ocorreu em um perfil profundo nas unidades onde a paisagem garimpo encontrava-se em atividade (unidades 6 e 7). Nesta situação, elevadas concentrações de alumínio foram encontradas nas amostras de garimpo, atingindo mais de 21,09% de saturação por alumínio.

Os solos dos garimpos apresentaram em média 25 % de argila. A matéria orgânica obtida nas amostras coletadas na paisagem de garimpo, que poderia contribuir para essa elevada CTC, apresentou teor de 0,4 %, o que isoladamente não poderia explicar esse aumento na CTC do solo. Contudo, apesar de não ter-se a mineralogia dessa argila é possível que existam argilas de alta atividade nestes solos, pois há alta capacidade de troca de cátions.

Na paisagem de mata nativa foram verificados os maiores valores de matéria orgânica do solo MOS (3,7 %), e o menor teor de alumínio ($1,1 \text{ cmolc kg}^{-1}$) enquanto que na paisagem garimpo,

verificou-se o maior teor de alumínio ($14,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e o menor teor de matéria orgânica (0,4%). O baixo teor de MOS na paisagem de garimpo reflete a mistura de materiais de maior profundidade no perfil com materiais superficiais. Também, durante o processo de exploração da mina não existe a entrada de material orgânico ao solo o que não permite a acumulação de MOS ao longo do tempo.

A paisagem mata nativa obteve o maior teor de matéria orgânica (3,7%) e também apresentou o maior teor de fósforo ($38,6 \text{ mg kg}^{-1}$). A MOS atua como fonte de fósforo para o solo durante a decomposição de suas estruturas. A MOS libera também agentes complexantes do fósforo, que reagem com os mesmos impedindo sua fixação aos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (reação de difícil reversão), e que podem devolvê-lo para a solução do solo. Júnior et al. (2015), sugeriu que o manejo com a conservação dos resíduos vegetais no sistema mostrou ser benéfico quanto ao incremento de matéria orgânica e aporte de frações de fósforo no solo, quando comparado a outros sistemas, mostrando dessa forma a importância dessa relação entre P disponível e MOS.

Da mesma forma como acontece na mata nativa, na paisagem garimpo, essa relação MOS e P também ocorre, porém no outro lado da balança. O solo do garimpo fica exposto a chuva, sem nenhuma cobertura o que provocou um aumento da decomposição da MOS. Além desse aspecto o revolvimento do solo ocasionado pela exploração frequente causa uma degradação mais intensa da matéria orgânica resultando nestas condições em baixos teores no solo. Esse decréscimo nos teores de MOS pode ter determinado um alto valor de P disponível em um período inicial, mas após algum tempo, ocorreu

uma menor disponibilidade do fósforo, atingindo o menor valor em comparação a todas as paisagens.

Os menores teores de potássio ($23,9 \text{ mg kg}^{-1}$), cálcio ($5,6 \text{ mg kg}^{-1}$) e magnésio ($2,6 \text{ mg kg}^{-1}$) foram encontrados na paisagem campestre. Estes elementos podem ter sido exportados via matéria seca consumida por bovinos. Além da reposição ineficiente dos nutrientes, a pouca matéria seca produzida na superfície permite maior erosão do solo resultando em perdas da camada mais fértil, o que aumenta a perda de tais nutrientes.

Para potássio e cálcio, os maiores teores foram encontrados no solo de mata nativa ($46,6 \text{ mg kg}^{-1}$ e $7,6 \text{ cmolc kg}^{-1}$), a qual apresentou a maior saturação de bases (37,12%).

Quanto à granulometria do solo, a paisagem de garimpo apresentou maiores percentuais de areia (51,7%), e o menor de argila (25%). A mata nativa obteve maior percentual de silte (27,8%) e menor de areia (42,2%). A lavoura obteve maior percentual de argila entre todos (32,9%). Na paisagem garimpo, o processo de revolvimento do solo e estocagem resultou em perda de argila quando comparado aos solos vizinhos. Dentro dos garimpos são alocados canais pelos quais a água da chuva deve escoar e consigo é provável que carregue sedimentos, no caso dos garimpos as argilas. O garimpo apresentou menores teores de manganês ($53,6 \text{ mg kg}^{-1}$), e o maior teor foi obtido na mata nativa ($91,0 \text{ mg kg}^{-1}$). O teor de cobre foi maior no garimpo ($11,5 \text{ mg kg}^{-1}$) e menor na mata nativa ($2,3 \text{ mg kg}^{-1}$).

4.2.2 Caracterização mineralógica dos solos

A Tabela 9 caracteriza a composição da rocha moída (ágata), em distintas formas e também apresenta o teor total de alguns atributos dos solos estudados. Para a leitura dos teores totais, utilizou-se as análises de fluorescência de Raios X de pós de ágata e também de solo.

Tabela 9 - Teor médio de elementos totais (em óxidos), e desvio padrão (entre parênteses) dos constituintes do solo, garimpo e pó de ágata analisadas por fluorescência de Raios X.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅
	%						
Pó de Ágata	97,50 (1,27)	0,80 (0,07)	0,43 (0,36)	0,20 (0,00)	0,23 (0,04)	0,08 (-)	0,75 (0,06)
Garimpos	56,84 (4,24)	17,03 (3,74)	17,21 (1,99)	2,04 (0,46)	1,03 (0,47)	1,32 (0,62)	0,79 (0,11)
Solo 1	57,95 (4,39)	15,97 (3,18)	17,06 (2,39)	2,10 (0,47)	1,05 (0,45)	1,34 (0,57)	0,84 (0,12)

Pó de ágata. Média das concentrações do pó solto (duas amostras), pó prensado (25 toneladas) e disco de ágata natural. Garimpos. Análise do solo dos garimpos em solos de profundidade (6, 7, 10, 11). Solo 1. Análise do solo (teor total) na paisagem campestre, média de garimpos com a presença confirmada de pedras (6, 7, 10, 11).

As amostras de ágata estudadas são constituídas principalmente por silício (97,5%), seguida pelo alumínio (0,8%), pelo fósforo (0,75%) e pelo ferro (0,43%). Concentrações de silício entre 92,52 e 97,95% foram verificados por Michelin et al. (2013), em amostras de diversas ágatas na região do distrito mineiro de Salto do Jacuí. Esses mesmos autores, em diversas determinações, obtiveram variações significativas nos conteúdos de Al, Fe, Cu, Ni e Ba. Os valores para Fe (0,82 a 3,44%) e Al (0,04 a 1,05%) nas amostras analisadas por Michelin et al. (2013) podem ser considerados como relativamente elevados.

Os resultados da Tabela 9 permitem afirmar que: na média das áreas com presença de pedras ágata têm-se altos teores de areia na granulometria dos solos. A formação estrutural da areia é basicamente formada de silício e oxigênio (quartzo). Dessa forma, é caracterizado um ambiente de alta concentração de silício o qual pode servir de fonte para formação de outros minerais e também geodos ricos em silício, que é o caso da ágata.

Esse mesmo raciocínio é cabível ao P. O fato de ter altas concentrações de P no solo, e altas concentrações de P nos geodos de ágata, podem estar relacionados entre si. O teor de P encontrado na amostra de ágata (0,75 %) foi muito superior ao encontrado nas amostras realizadas por Michelin et al. (2013), (máximo 0,03%). Porém quando se observa o teor total de P do solo (0,84 %) este apresenta valor similar ao da ágata. O teor de fósforo do solo, extraído por Mehlich-1, é considerado alto segundo CQFS-RS/SC (2004).

Quando se compara teores totais de elementos químicos nos solos e na ágata verifica-se uma série ordenada de elementos (Tabela 8). Ordenando-se os elementos do mais concentrado para o menos concentrado, as séries formadas são as seguintes:

Pó de ágata: Si>Al>P>Fe>Ca>Mg>K;

Garimpo: Si>Fe>Al>Mg>K>Ca>P e

Solo 1: Si>Fe>Al>Mg>K>Ca>P.

Nesse sentido, caracterizar solos adjacentes às áreas de exploração de lavras a céu aberto, em distintas paisagens é de fundamental importância para elaboração de estratégias de recuperação de áreas degradadas, como pode ser para prospecção de novas áreas com potencial de produção de pedras ágatas.

Este breve estudo visa abrir um caminho, gerando oportunidades de pesquisa com o uso de atributos a fim de indicar a presença de pedras ágata e dar o início necessário ao desenvolvimento de uma tecnologia de prospecção de novas áreas.

A caracterização das unidades de estudo (tanto em seu interior como nas paisagens adjacentes) permite o estabelecimento de níveis normais para atributos chave importantes na recuperação de solos degradados pelas explorações de lavras a céu aberto. A caracterização dos solos dentro dos garimpos, fornece conhecimento importante para avaliação do tamanho do impacto da exploração sobre o solo. Além disso, pode-se também fazer uso de tais atributos medidos dentro dos garimpos como informação complementar para a prospecção de novas áreas de exploração. Neste sentido, buscou-se complementar a caracterização das áreas com exploração com a composição química do geodo de ágata e dos solos de algumas unidades.

4.2.3 Impacto da exploração de ágata nos atributos de solo

Visando obter melhor entendimento sobre o impacto da exploração de garimpos de pedras ágata sobre o solo das distintas paisagens que o cercam foi necessário classificar as unidades em classes que referenciem seu atual status de ocupação. Algumas unidades encontrava-se em exploração ativa, outras já haviam sido exploradas e estavam em recuperação regular. Havia ainda algumas que tinham sido abandonados após a exploração, e o maior número de unidades não havia ainda iniciado a exploração. Buscou-se descrever melhor a

ocupação e o uso do solo nas paisagens, agrupando-se as 10 unidades visitadas em 4 categorias:

- EA: Exploração ativa: são unidades com exploração ativa no momento da visita (unidades 6 e 7);
- RAR: Unidade com recuperação ambiental regularizada - (unidade 10);
- ERA: Unidades com recuperação espontânea – (unidade 4a e 11);
- SE: Unidades sem exploração – (unidades 4b, 5a, 5b, 8 e 9).

Essa classificação foi realizada baseada nas visitas a campo e no estudo visual das imagens de satélite.

Na Tabela 10 destacam-se os atributos da paisagem campestre a qual localizou-se próximas aos garimpos (quando este existia). O teor de matéria orgânica (3,62%) no grupo RAR foi o maior entre todos os grupos. Neste mesmo grupo os cátions básicos (Ca, Mg, K) que formam a saturação bases e também o fósforo, obtiveram os maiores valores dentre todos os grupos (40,74 % e 68,75 mg kg⁻¹), além de apresentar o menor teor de alumínio (0,46 cmol_c kg⁻¹).

Embora não se tenha o histórico dessa área, pelos dados apresentados acima se pode deduzir que uma calagem ocorreu para recuperação do solo após a exploração do garimpo. A elevação do fósforo e potássio pode ser devido à aplicação de fertilizantes químicos. Este grupamento apresentou o maior teor de areia (71,35%) e o menor de argila dentre todos (14,78%).

Considerando a saturação por bases, o teor de alumínio, o teor de fósforo e de matéria orgânica como um conjunto que representa

a fertilidade de um solo, o grupamento RAR é aquele com maior fertilidade dentre todos.

Tabela 10 - Teor dos atributos da paisagem campestre nos grupamentos com exploração ativa (EA), recuperação ambiental regular (RAR), recuperação ambiental espontânea (RAE) e sem exploração (SE)

G.	Argila	Silte (%)	Areia	Al (cmolc kg ⁻¹)	CTC pH7 (cmolc kg ⁻¹)	MO (%)	P (mg kg ⁻¹)	V (%)	DS (g cm ⁻³)
EA	24,67	11,06	64,28	4,5	34,34	1,00	23,2	27,36	2,05
RAR	14,58	14,06	71,35	0,46	29,16	3,62	68,7	40,74	1,04
RAE	36,50	16,40	47,12	6,72	43,18	2,53	5,21	10,22	1,42
SE	37,26	20,80	41,94	3,55	34,01	2,92	7,4	25,73	1,32

Al é Alumínio; CTC é a capacidade de troca de cátions; MO é a matéria orgânica do solo; P é fósforo; V é saturação de bases; DS é a densidade do solo; Grupamentos (G.).

O grupo RAE, na paisagem campestre apresentou o maior teor de alumínio (6,72 cmolc kg⁻¹), a segunda maior densidade do solo (1,42 g cm⁻³), a menor saturação por bases (10,22%) e o menor teor de fósforo disponível (5,21 mg kg⁻³). Esse grupamento na paisagem campestre se apresentou com índices inferiores as demais unidades.

A paisagem do entorno das unidades nas quais procedeu-se a recuperação regular, apresentou melhor fertilidade quando comparada as unidades em recuperação espontânea. Isso demonstra que o modo como a recuperação das áreas exploradas foi conduzido tem impacto sobre as paisagens do entorno.

A análise de unidades exploradas permite a discussão sobre o impacto da exploração sobre os solos. Quando observa-se a Tabela 11, verifica-se que os teores de MOS dentro do garimpo foram inferiores aos encontrados na paisagem campestre independentemente

do modelo de recuperação adotado. Os teores de alumínio foram mais altos dentro das áreas de garimpo quando comparados aos teores encontrados nas paisagens campestres. O fósforo teve comportamento similar ao apresentado pela MOS, apresentando teores inferiores na paisagem garimpo comparativamente ao da paisagem campestre. Por esse conjunto de alterações nos atributos, considera-se como altamente impactante sobre a fertilidade do solo na paisagem de garimpo a exploração com lavras a céu aberto.

Tabela 11 - Efeitos no solo dos tipos de recuperação ambiental, espontânea (RAE) ou regular (RAE) nas paisagem campestre e garimpo, segundo o status de cada grupamento

Paisagem	Status	Argila	Silte (%)	Areia	Al (cmolc kg ⁻¹)	CTC pH 7	P (mg kg)	V (%)	DS (g cm ⁻³)	MO (%)
Campestre	RAR (Unidade 10)	14,58	14,06	71,35	0,46	29,16	68,75	40,74	1,04	3,62
Garimpo		17,68	32,28	50,04	7,95	61,63	8,12	20,76	1,04	0,44
Campestre	ERA (Unidade 4a e 11)	36,50	16,40	47,12	6,72	43,18	5,21	10,22	1,42	2,53
Garimpo		33,01	18,07	48,92	16,46	72,03	1,47	11,07	1,28	0,95
Campestre	MCT	32,30	17,30	50,40	4,00	35,40	16,20	23,30	1,45	2,50
Garimpo	MGT	25,00	23,30	51,70	14,80	68,70	4,90	16,12	1,20	0,40

Al é Alumínio; CTC é a capacidade de troca de cátions; MO é a matéria orgânica do solo; P é fósforo; V é saturação de bases; DS é a densidade do solo; MCT é a média da paisagem campestre em todas as unidades (tabela 7); MGT é a média da paisagem garimpo em todas as unidades (tabela 7).

Na Tabela 11, a paisagem campestre (RAR), o teor de alumínio foi aproximadamente 14 vezes inferior ao RAE. O teor de fósforo da RAR foi 13 vezes maior ao RAE. A saturação por bases na RAR foi aproximadamente 4 vezes superior a RAE. Nas unidades com RAR o teor de MO foi 1,4 vezes superior, a DS foi 1,3 vezes inferior aos teores nas unidades RAE. Com estas características pode-se afirmar que quando adotado o sistema de recuperação regular dentro das áreas de garimpo, o solo das paisagens adjacentes (no caso deste estudo a paisagem campestre), apresenta índices melhores quando comparados ao sistema espontâneo de recuperação de áreas de garimpo. O sistema de recuperação adotado tem influência sobre as paisagens no seu entorno dentro do raio de estudo.

Quanto ao impacto da exploração sobre os solos do garimpo, percebe-se que a MO, saturação de bases, teor de fósforo e teor de argila atingem valores inferiores aos obtidos nas paisagens campestres do entorno das explorações. A CTC pH7 atinge o maior valor entre todas as paisagens nas áreas exploradas. Dessa forma, conclui-se que a exploração de pedras ágata tem forte impacto sobre o solo onde ocorre a exploração.

Para demonstrar os possíveis efeitos da exploração sobre os solos das paisagens no entorno, a Tabela 12 apresenta os atributos do solo da paisagem campestre quando essa está associada ou não as áreas com exploração de pedras ágata.

Tabela 12 - Média dos atributos do solo das paisagens adjacentes as explorações (campestre) nas áreas com exploração e nas áreas sem exploração

	Al (cmolc kg ⁻¹)	V (%)	MO (%)	P (mg kg ⁻¹)	DS (g cm ⁻³)	Areia	Silte (%)	Argila
CE	3,89	24,1	2,38	32,4	1,50	60,92	13,84	25,25
SE	3,55	25,7	2,92	7,40	1,32	41,94	20,80	37,26
MCT	4,00 (2,7)	23,3 (6,3)	2,50 (1,1)	16,2 (22,1)	1,45 (0,4)	50,40 (13,6)	17,30 (9,3)	32,20 (11,1)

MCT é a média da paisagem campestre em todas as unidades. Desvio Padrão do MCT entre parênteses. Com Exploração (CE); Sem exploração (SE).

Considera-se a fertilidade de um solo como um conjunto de atributos compostos principalmente pela saturação por bases, alumínio, fósforo e matéria orgânica. Na Tabela 12, são apresentados os atributos das paisagens adjacentes a exploração (campestre) nas unidades com e sem exploração. Percebe-se que o teor de matéria orgânica, a saturação por bases e o teor de alumínio não variaram entre as unidades com e sem exploração. O teor de fósforo nas áreas onde ocorre a exploração a paisagem do entorno atingiu valor 4,3 vezes superior à área sem exploração. Entretanto, quando se observa o teor de fósforo médio de todas as unidades campestres (MCT), também temos um teor considerado muito alto pela CQFS – RS/SC (2004). Apenas a granulometria das áreas com exploração apresentou diferenças significantes quando comparado as unidades sem exploração. Nas áreas com exploração obteve-se maior teor de areia e menor de argila.

Dessa forma, pode-se concluir que a exploração não afetou significativamente este conjunto de atributos (fertilidade) e que por consequência disto, pode-se concluir que a exploração de pedras ágata não gera impacto sobre o solo das paisagens adjacentes.

Cabe ressaltar que não existem dados de análise de solo anteriores à exploração, o que poderia auxiliar muito na diferenciação do efeito da exploração nas paisagens próximas bem como na própria área explorada. Quando ocorrem estas situações de falta de histórico anterior a exploração, dados obtidos em solos de paisagens adjacentes são excelentes indicadores e auxiliam muito na construção de parâmetros para reconstrução da fertilidade original da área.

A unidade 11 é uma das áreas na qual a metodologia aplicada a este estudo pode auxiliar na estratégia para sua recuperação, pois já havia sido explorada de maneira ilegal em períodos anteriores. Esta unidade foi adquirida por um novo proprietário o qual solicitou a abertura de um novo processo de licenciamento para essa unidade. Nesta situação, o histórico de fertilidade não existe, sendo necessário o desenvolvimento de padrões para que ao fim da exploração seja recriada a fertilidade adequada para recuperação da área. Assim, sugere-se que quando o processo de recuperação ocorrer em áreas nas quais não se possui o conhecimento da fertilidade original do solo deve-se utilizar a fertilidade de paisagens similares próximas as áreas exploradas como padrão para sua recuperação.

As observações realizadas nesse trabalho sugerem que para a recuperação de áreas degradadas com a exploração de lavras a céu aberto (não restringida apenas a pedras ágata), quando for realizado o PRAD, seja realizado um estudo da fertilidade do solo em paisagens próximas à exploração no momento da reconstrução do solo, com o objetivo de determinar níveis de fertilidade adequados a recuperação da área.

4.3 Metodologia para avaliação de impacto e levantamento de parâmetros de fertilidade para correção de solos

Com o intuito de colaborar com os estudos de impacto ambientais provocado pelas explorações mineiras em lavras a céu aberto, este trabalho sugere uma metodologia para avaliar o impacto sobre o solo e também para obtenção de parâmetros de fertilidade para a reconstrução dos solos dentro das explorações.

Primeiramente é necessário buscar a localização geográfica da lavra, e posicioná-la em um software de sistema de informações geográficas (SIG). No presente trabalho utilizou-se um software livre denominado QGIS.

Após a identificação da coordenada, seu sistema de referência e projeção cartográfica, sugere-se a aquisição de imagens com alta resolução espacial. Neste trabalho utilizou-se imagens com as seguintes características: resolução espacial na banda pancromática de 0,7 metros. As demais bandas, azul, verde, vermelho e infravermelho próximo são de 2,8 metros. A resolução espectral utilizada na banda pancromática foi de 450 a 900 nanômetros (nm). Podem ser utilizadas imagens com outras configurações, desde que, seja observada sua resolução espacial, sendo que esta deve ser de no máximo 3 metros, para que não sejam perdidas informações presentes em pixels menores do que este tamanho. Quanto menor for o tamanho da área de estudo, menor deve ser a escala, portanto a imagem deve possuir uma alta resolução espacial.

A seguir deve-se proceder a identificação da lavra no software através das coordenadas levantadas anteriormente. Observando sua posição na paisagem e seu atual status de operação.

Observando a paisagem, verifica-se quantas são as suas feições, e com o uso do software de SIG delimita-se um raio de estudo (alocar a lavra no centro do raio). Sugere-se utilizar o menor raio capaz de representar a totalidade das paisagens do entorno da lavra. Neste trabalho utilizou-se um raio com 200 metros e outro com 600 metros. No menor raio algumas paisagens não foram cobertas o que direcionou o trabalho a utilizar o maior raio com cobertura de todas as paisagens presentes na imagem.

Classificar os usos do solo dentro do raio delimitado: a classificação das paisagens seguiu um estudo preliminar das imagens onde definiu-se as categorias principais de uso do solo (tipificação da paisagem) presentes em todas as áreas de estudo. Neste trabalho utilizou-se as seguintes feições: Bosques: áreas com plantio de eucalipto, pinus ou outras florestas manejadas e com predominância visual de uma única espécie arbórea. Campestres: áreas de vegetação herbácea, sejam elas campos nativos ou com ação antrópica e áreas onde há manejo de animais (pastagens). Construções: galpões, casas e demais áreas cobertas por telhado. Estradas: áreas de trânsito frequente de veículos e animais. Espelho de Água: áreas cobertas com lâmina de água, sejam elas rios, açudes ou barragens. Mata Nativa: regiões cobertas com florestas naturais com pequena modificação antrópica. Lavouras: áreas que possuem solo preparado ou cobertura verde uniforme que caracterize ação antrópica de cultivo.

Após a determinação dos usos do solo (lavoura, mata nativa, campestre, estradas, espelho de água, construções e bosques), criou-se uma camada (feição) em formato (*shape*) referente a cada uso, para cada unidade de estudo. Exemplo das classificações de usos do solo estão presentes na figura 5.

É necessário identificar dentro de cada paisagem um ponto característico para que possa ser amostrado o solo e tal amostragem seja representativa de toda paisagem, observando a topografia, relevo e outros aspectos importantes da feição. Realizar sub amostras dentro da mesma paisagem e depois homogeneizá-las para enviar ao laboratório apenas uma amostra representativa de cada paisagem.

Realizar a classificação visual das imagens separando cada feição e seus contornos. Exportar os dados gerados na classificação para tabelas onde possam ser visualizados a ocupação das paisagens dentro dos raios de estudo.

Realizar a visita ao campo de posse de equipamento adequado de coleta (pá de corte ou trado calador), máquina fotográfica para registro fotográfico se achar necessário, receptor GPS com precisão sub-métrica e coordenadas selecionadas dos pontos a serem amostrados. Havendo lavra em operação, deve-se realizar uma coleta dentro da lavra no local de maior profundidade e uma coleta no amontoado do solo decapeado, este que formará o perfil superficial do solo após o fim da exploração.

Realizar as coletas em profundidade adequada a finalidade para a qual a lavra será destinada ao fim da exploração. Sendo a destinação para o cultivo anual de grãos ou pastagens anuais, utilizar-se-á profundidade de 20 centímetros. Se para cultivo de

reflorestamentos comerciais ou revegetação natural amostrar de 0 a 40 cm. Vale ressaltar que a mesma profundidade de amostra realizada no entorno deve ser realizada na lavra para permitir a comparação dos teores dos atributos de fertilidade.

Encaminhar amostras a um laboratório credenciado a rede oficial de laboratórios da região de atuação.

Solicitar as seguintes análises: densidade do solo (método do torrão); granulometria (argila, silte e areia) pelo método da pipeta; matéria orgânica; teor de Ca, Mg, K; CTC efetiva e a pH 7; teor de Al; saturação de Al, bases e teor de fósforo.

Após realizada as análises, efetuar um estudo detalhado sobre a fertilidade de cada paisagem, comparando a fertilidade de dentro da lavra (decapeado e em profundidade) com a fertilidade dos solos nas paisagens do entorno.

Verificar quais são os atributos que sofreram maiores alterações quando comparados aos teores das paisagens do entorno.

Selecionar a paisagem que representa a mesma destinação futura da lavra. Por exemplo, caso a destinação futura da lavra seja uma lavoura, verificar os índices de fertilidade da paisagem lavoura que foi coletada no entorno da lavra. Comparar a fertilidade da lavra com a fertilidade da paisagem lavoura.

Baseado no conhecimento técnico, selecionar as técnicas pertinentes para atingir o índices de fertilidade adequados. Dentre as técnicas sugere-se consultar o manual de fertilidade adotado pela pesquisa oficial da região na qual a lavra se encontra. De maneira geral são utilizadas as técnicas de calagem para elevação da saturação de bases, aumento do pH do solo e redução do teor de alumínio tóxico.

Assim como utilizar de coberturas com culturas de elevada relação carbono/nitrogênio para elevação da matéria orgânica. A fosfatagem é utilizada para correção dos teores de fósforo. Outras técnicas podem ser adotadas variando de acordo com a necessidade de correção da fertilidade.

Deve-se atentar para a recomendação oficial quanto as doses e o modo de aplicação dos corretivos especificados nos manuais de recomendação de adubação e corretivos oficiais.

Após realizada as correções de acordo com a recomendação oficial, recomenda-se realizar uma nova coleta de solo para verificar as modificações ocorridas e compará-las ao padrão da paisagem do entorno. Recomenda-se reanalisar o solo corrigido após um ano da correção para verificar os efeitos dos corretivos nos atributos de fertilidade da área. Sendo adequadamente aplicados, não serão necessárias novas aplicações.

Seguindo esta metodologia, tem-se ao final um levantamento detalhado dos usos do solo com a respectiva caracterização da fertilidade do solo de cada paisagem. A correção de tais parâmetros de fertilidade garantirá o máximo desenvolvimento da vegetação na área degradada, o que permitirá uma recuperação mais uniforme e uma retomada da área com relação ao cumprimento de suas funções ecológicas na paisagem.

5 CONCLUSÕES

Das paisagens observadas no Alto da Serra do Botucaraí, a mata nativa, campestre e lavoura representaram juntas ~96% do território estudado circundando as minas.

A exploração de pedras ágata provoca impacto no solo do garimpo, ocasionando perdas de qualidade em atributos como matéria orgânica, alumínio e saturação de bases. Com relação à qualidade do solo nas paisagens, a mata nativa apresenta os maiores teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, zinco, manganês e silte. A campestre apresenta a maior densidade do solo. A paisagem do garimpo possui maior CTC, teor Cu, areia, alumínio e magnésio. Essa caracterização pode servir como base de dados para estudos de recuperação da fertilidade natural dos solos com características semelhantes e também servir como modelo para este tipo de estudo.

A recuperação ambiental regularizada (RAR) aplicada a uma das unidades estudadas tem eficiência na recuperação da área degradada com a melhoria em diversos atributos importantes para a fertilidade do solo.

Nas paisagens do entorno das explorações não existe impacto da exploração sobre a qualidade dos solos, dessa forma, é passível a utilização de tais índices de fertilidade como padrões para a recuperação de áreas degradadas próximas.

Este trabalho obteve êxito em seus objetivos com o uso de uma metodologia de avaliação inovadora a qual pode ser replicada na busca de uma otimização no gerenciamento do território em casos de exploração mineral.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, A. C. A. B.; COSTA, T. P. G.; ALVES, C. S.; LINHARES, F. M. Diagnóstico espaço-temporal das áreas impactadas pela MPL – Mineração Pedra Lavrada (Santa Luzia – PB), na extração de vermiculita. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, João Pessoa, v. 2, n. 2, p. 25-36, 2015.

AUGUSTIN, A. H., JUCHEM, P. L., BRUM, T. M. M.; FISCHER, A. C. Opala no Rio Grande do Sul. In: XLII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2004, ARAXÁ. *Anais...* Belo Horizonte: 2004. P. 861.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; ARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. *Introdução à Engenharia Ambiental. O desafio do desenvolvimento sustentável*. 2. ed. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2005. 318p.

BRASIL. *Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 23 mai. 2016.

BRASIL. *Lei Federal nº 7.804, de 18 de julho de 1989*. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7804.htm. Acesso em: 23 mai. 2016.

BRASIL. *Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?odlegi=23>>. Acesso em: 23 out. 2014.

BORGES, P. D. Q.; PEDERIVA, M. P.; MAMANN, A. J. *Plano estratégico de desenvolvimento da região do Alto da Serra do Botucaraí*. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2010. (Documento 1).

CQFS (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO) – RS/SC. *Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 2004. 394 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

HARTMANN, L.A.; BAGGIO, S.B. Indicadores geológicos da presença de jazidas de ametista, ágata e cobre em basaltos do Grupo Serra geral. In: DONATO, M.; DUARTE, L. C.; HARTMANN, L. A. (Org.). *Inovação, design e pesquisas aplicadas em gemas, joias e mineração*. 1. ed. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015. p. 97-105.

JUNCHEM, P. L.; BRUM, T. M. M.; FISCHER, A. C.; LICCARDO, A.; CHODUR, N. L. Potencial gemológico da região sul do Brasil. In: I SEMINÁRIO SOBRE DESIGN E GEMOLOGIA DE PEDRAS, GEMAS E JÓIAS DO RIO GRANDE DO SUL, 2009, Soledade. *Anais eletrônicos...* Soledade: 2009. Disponível em: <http://usuarios.upf.br/~ctpedrassdgem/artigos/Art22_Juchem_FINAL.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2015.

JUCHEM, P.L.; BRUM, T.M.M.; FISCHER, A.C.; LICCARDO, A.; CHODUR, N.L. Geology of gemstone deposits in South Brazil. In: ACTAS XIII CONG. LATINOAMERICANO GEOLOGIA. 8., 2008, Lima. *Anais...* Lima: Sociedade Geologia, 2008. p. 1 - 6.

JUNIOR, J. C. de, S.; BRAGA, A. C. M.; SANTOS, C. R. C. dos.; JUNIOR, M. L. da S.; SILVA, G. R.; MELO, V. S. de. O manejo com a trituração da vegetação favorece o incremento de matéria orgânica e as formas de fósforo no solo. *Scientia Plena*, v. 11, n. 9, p. 25-32. 2015.

LUCHIARI, A. Identificação de coberturas vegetais de áreas urbanas por meio de produtos de sensoriamento remoto e de um sistema de informação geográfica. *Revista do departamento de Geografia*, v. 14, p. 47-58, 2001.

MATHIEU, C.; PIELTAIN, F. *Analyse physique des sols: Méthodes choisies*. 3. ed. Paris: Tec & Doc Lavoisier, 1998. 275 p.

MESSIAS, C. G. Análise comparativa entre o mapeamento de usos do solo e cobertura vegetal utilizando imagens de média e alta resolução espacial. *Revista Geonorte*, v. 2, p. 1230-1243, 2012.

MICHELIN, C. R. L.; MIZUSAKI, A. M. P.; FERREIRA, V.; BRUM, T. M. M.; HARTMANN, L. A. Ágata associada ao magmatismo do Cretáceo da Pacia do Paraná, sul do Brasil. *Pesquisas em Geociências*. v. 40, p.129-139, 2013.

MOREIRA, P. R. *Manejo do solo e recuperação da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG*. 2004. 154 f. Tese. (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, E. Mapeamento dos fragmentos de vegetação florestal nativa da bacia hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo, a partir de imagens do satélite IKONOS II. *Revista Árvore*, v. 30, p. 389-398, 2006.

PETTER, L. *As múltiplas expressões da sustentabilidade: A realidade regional do COREDE da produção no estado do Rio Grande do Sul*. 2002. 144 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 2002.

RHEINHEIMER, D. dos S.; CAMPOS, B. H. C. de; GIACOMINI, S. J.; CONCEIÇÃO, P. C.; BORTOLUZZI, E. C. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total no solo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 32, n. 1, p. 435-440, 2008.

SANO, E. E.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L.G.; BEZERRA, H. S. Mapeamento da cobertura vegetal natural e antrópica do bioma cerrado por meio de imagens Landsat ETM+. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009. Natal. *Anais...Natal: INPE*, 2009. p. 1199-1206.

SHOEMAKER, H.E.; McLEAN, E.O. & PRATT, P.F. Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. *Soil Science*, vol. 25, p. 274-277, 1961.

SIMMONS, T.; ARP, C. D. Analyzing the impacts of Off-Road Vehicle (ORV) Trails on watershed process in Wrangell-St Elias National Park and Preserve, Alaska. *Environmental Management*, v. 49, p. 751-766, 2012.

SPAROVEK, G. Influence of organic matter and soil fauna on crop productivity and soil restoration after simulated erosion. *Advances in Geoecology*, v. 31, p. 431-434, 1998.

SPAROVEK, G; TERAMOTO, E. R.; TORETA, D. M.; ROCHELE, T. C. P.; SHAYER, E. P. M. Erosão simulada e a produtividade da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 15, p. 363-368, 1991.

STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. *Solos do Rio Grande do Sul*. 2. ed. Porto Alegre: Emater/RS – Ascar, 2008. 222 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: UFRGS, 1995. (Boletim técnico 5).

YADA, M.M. *Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração em ecossistema amazônico em recuperação*. 2011. 75 p, Dissertação. (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2011.

VASCONSELOS, C.H.; NOVO, E.M.L.M. *Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens – fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/LanSat5, na região do reservatório de Tucuruí, PA*. *ACTA Amazonica*, v. 34, n.3, p. 487-493, 2004.

VIANA, R.D.; AQUINO, F.E.; MATZENAUER, R. *Comportamento espaço temporal da precipitação no Rio Grande do Sul entre 1945-1974 e 1975-2004*. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/14-e317005729b227b58833ae800588be19.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2015.

APÊNDICES

Apêndice 1:

Atributos determinados em solos da paisagem Campestre. Sendo Al (alumínio), MO (matéria orgânica), P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio) e DP (desvio padrão)

Unidades	pH Água	SMP	Al cmol _c kg ⁻³	MO %	P mg kg ⁻³	K mg kg ⁻³	Ca cmol _c kg ⁻³	Mg cmol _c kg ⁻³
4a	4,28	4,07	6,91	1,22	6,85	9,82	1,85	0,73
4b	4,60	4,01	7,19	2,14	1,92	11,00	2,08	2,02
5a	4,71	3,99	5,03	3,04	5,73	52,26	6,75	2,96
5b	5,20	5,40	1,58	2,76	4,61	22,51	7,38	3,54
6	5,00	5,18	2,23	1,55	42,99	23,30	5,38	1,50
7	5,43	4,11	6,76	0,45	3,49	12,72	7,26	4,56
8	4,70	4,59	3,65	3,37	17,45	23,76	3,12	1,45
9	5,48	5,80	0,32	3,30	7,30	32,19	10,95	3,14
10	5,13	4,81	0,46	3,62	68,75	43,53	8,41	3,36
11	4,77	4,15	6,53	3,83	3,56	8,50	3,35	2,84
Media	4,93	4,61	4,07	2,53	16,27	23,96	5,65	2,61
DP	0,38	0,66	2,77	1,14	22,15	14,86	3,01	1,16
Máximo	5,48	5,80	7,19	3,83	68,75	52,26	10,95	4,56
Mínimo	4,28	3,99	0,32	0,45	1,92	8,50	1,85	0,73

Apêndice 2:

Atributos determinados em solos na paisagem de Campestre. Sendo Cu (cobre), Zn (Zinco), Mn (Manganês), CTC (capacidade de troca de cátions), DS (densidade do solo), DP¹ (densidade de partículas) e DP² (desvio padrão)

Unidades	Cu	Zn	Mn	CTC Efetiva	CTC pH 7	DS	DP ¹	Areia	Silte	Argila
		mg kg ⁻³		cmol _c kg ⁻¹		g cm ⁻³			%	%
4a	17,20	29,89	28,23	9,52	43,53	1,61	2,86	48,24	23,26	28,51
4b	20,20	17,90	23,60	11,33	46,89	1,47	2,86	32,39	17,12	50,49
5a	2,23	71,69	83,77	14,89	56,26	1,35	2,22	41,10	13,91	44,99
5b	2,23	85,53	132,20	12,56	19,85	1,20	2,86	51,72	15,84	32,44
6	10,62	44,87	124,39	9,17	18,35	1,37	2,86	70,41	2,63	26,96
7	1,45	26,18	76,12	18,61	50,33	2,73	2,50	58,15	19,48	22,37
8	5,05	20,76	49,71	8,27	27,09	1,29	2,50	32,18	38,05	29,78
9	3,07	142,31	115,51	14,49	19,97	1,28	2,50	52,31	19,08	28,61
10	3,54	27,18	143,17	12,34	29,16	1,04	2,22	71,35	14,06	14,58
11	6,42	39,16	19,28	12,75	42,82	1,23	2,22	45,99	9,53	44,48
Media	7,20	50,55	79,60	12,39	35,43	1,46	2,56	50,38	17,30	32,32
DP ²	6,66	39,12	47,66	3,10	14,10	0,47	0,28	13,63	9,27	11,13
Máximo	20,20	142,31	143,17	18,61	56,26	2,73	2,86	71,35	38,05	50,49
Mínimo	1,45	17,90	19,28	8,27	18,35	1,04	2,22	32,18	2,63	14,58

Apêndice 3:

Atributos determinados em solos da paisagem Mata Nativa. Sendo Al (alumínio), MO (matéria orgânica), P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio) e DP (desvio padrão)

Unidades	pH Água	SMP	Al cmol _c kg ⁻³	MO %	P mg kg ⁻³	K mg kg ⁻³	Ca cmol _c kg ⁻³	Mg cmol _c kg ⁻³
4a	5,16	5,12	0,42	3,86	41,12	65,93	7,23	2,92
4b	4,30	4,72	3,99	2,58	75,54	17,92	2,92	1,15
5a	5,13	5,17	0,25	4,11	30,67	27,48	8,88	2,38
5b	5,37	5,03	0,21	4,14	73,68	73,84	9,20	4,02
8	4,80	4,57	2,41	3,75	27,23	61,98	5,08	2,10
9	5,76	5,00	0,30	3,83	13,57	56,71	10,07	3,31
10	5,36	5,39	0,29	3,64	8,64	22,17	10,20	2,36
Media	5,13	5,00	1,12	3,70	38,64	46,58	7,65	2,61
DP	0,47	0,28	1,49	0,53	26,83	23,24	2,75	0,92
Máximo	5,76	5,39	3,99	4,14	75,54	73,84	10,20	4,02
Mínimo	4,30	4,57	0,21	2,58	8,64	17,92	2,92	1,15

Apêndice 4:

Atributos determinados em solos na paisagem de Mata Nativa. Sendo Cu (cobre), Zn (Zinco), Mn (Manganês), CTC (capacidade de troca de cátions), DS (densidade do solo), DP¹ (densidade de partículas) e DP² (desvio padrão)

Unidades	Cu	Zn	Mn	CTC Efetiva	CTC pH 7	DS	DP ¹	Areia	Silte	Argila
	mg kg ⁻³			cmolc kg ⁻¹		g cm ⁻³				%
4a	6,12	94,66	111,65	10,74	22,34	1,40	2,22	44,72	24,57	30,71
4b	2,83	103,65	104,62	8,11	28,66	1,36	2,86	30,38	28,36	41,25
5a	2,83	151,40	137,22	11,58	22,78	1,17	2,50	56,80	20,54	22,66
5b	1,57	48,01	88,64	13,61	29,67	1,18	2,50	41,99	26,96	31,05
8	1,03	18,19	50,17	9,74	30,63	1,22	2,50	30,16	34,50	35,34
9	1,03	104,22	61,37	13,83	38,94	1,09	2,50	50,20	28,24	21,55
10	0,73	72,40	83,38	12,91	21,58	1,22	2,86	41,01	31,89	27,10
Media	2,31	84,65	91,01	11,50	27,80	1,23	2,56	42,18	27,87	29,95
DP ²	1,89	43,22	29,88	2,12	6,19	0,11	0,23	9,74	4,58	6,96
Máximo	6,12	151,40	137,22	13,83	38,94	1,40	2,86	56,80	34,50	41,25
Mínimo	0,73	18,19	50,17	8,11	21,58	1,09	2,22	30,16	20,54	21,55

Apêndice 5:

Atributos determinados em solos da paisagem Lavoura. Sendo Al (alumínio), MO (matéria orgânica), P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio) e DP (desvio padrão)

Unidades	pH Água	SMP	Al cmol _c kg ⁻³	MO %	P mg kg ⁻³	K mg kg ⁻³	Ca cmol _c kg ⁻³	Mg cmol _c kg ⁻³
4b	4,08	4,89	2,84	2,41	10,43	98,83	4,64	1,04
5 ^a	4,62	4,84	5,00	3,45	56,50	12,65	6,87	2,36
5b	5,16	5,52	0,21	3,17	20,07	58,02	6,70	3,74
6	5,23	3,72	13,10	0,14	8,57	30,35	10,02	2,98
7	4,77	5,20	0,95	2,72	14,39	11,40	5,58	2,86
9	5,06	4,59	3,96	1,26	5,43	12,33	8,64	3,38
Media	4,82	4,79	4,34	2,19	19,23	37,26	7,08	2,73
DP	0,43	0,62	4,65	1,26	18,95	35,12	1,97	0,95
Máximo	5,23	5,52	13,10	3,45	56,50	98,83	10,02	3,74
Mínimo	4,08	3,72	0,21	0,14	5,43	11,40	4,64	1,04

Apêndice 6:

Atributos determinados em solos na paisagem de Lavoura. Sendo Cu (cobre), Zn (Zinco), Mn (Mangânês), CTC (capacidade de troca de cátions), DS (densidade do solo), DP¹ (densidade de partículas) e DP² (desvio padrão)

Unidades	Cu	Zn	Mn	CTC Efetiva	CTC pH 7	DS	DP ¹	Areia	Silte	Argila
	mg kg ⁻³			cmol _c kg ⁻¹		g cm ⁻³			%	
4b	14,20	13,20	31,17	8,57	21,46	1,40	2,86	44,92	20,33	34,75
5a	9,42	75,25	126,17	14,27	26,82	1,17	2,50	27,46	25,44	47,10
5b	2,29	108,60	120,84	10,80	18,25	1,15	2,50	50,51	22,00	27,49
6	2,85	89,95	70,87	26,18	72,68	1,33	2,50	70,93	15,55	13,52
7	9,30	30,74	24,60	9,42	19,46	1,53	2,86	41,90	18,30	39,79
9	7,50	27,32	58,52	16,01	35,44	1,22	2,50	50,39	14,96	34,65
4b	14,20	13,20	31,17	8,57	21,46	1,40	2,86	44,92	20,33	34,75
Media	7,59	57,51	72,03	14,21	32,35	1,30	2,62	47,69	19,43	32,88
DP ²	4,48	38,91	43,40	6,53	20,74	0,15	0,19	14,18	4,00	11,49
Máximo	14,20	108,60	126,17	26,18	72,68	1,53	2,86	70,93	25,44	47,10
Mínimo	2,29	13,20	24,60	8,57	18,25	1,15	2,50	27,46	14,96	13,52

Apêndice 7:

Atributos determinados em solos da paisagem Garimpo. Sendo Al (alumínio), MO (matéria orgânica), P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio) e DP (desvio padrão)

Unidades	pH Água	SMP	Al cmol _c kg ⁻³	MO %	P mg kg ⁻³	K mg kg ⁻³	Ca cmol _c kg ⁻³	Mg
6	5,12	3,70	13,64	0,14	8,12	31,66	9,86	4,35
7	5,04	3,91	21,24	0,18	2,00	57,46	6,25	2,71
10	4,62	3,90	7,95	0,44	8,12	13,38	8,37	4,39
11	5,26	3,66	16,46	0,95	1,47	17,14	4,65	3,28
Media	5,01	3,79	14,82	0,43	4,93	29,91	7,28	3,68
DP	0,28	0,13	5,55	0,37	3,69	19,99	2,30	0,83
Máximo	5,26	3,91	21,24	0,95	8,12	57,46	9,86	4,39
Mínimo	4,62	3,66	7,95	0,14	1,47	13,38	4,65	2,71

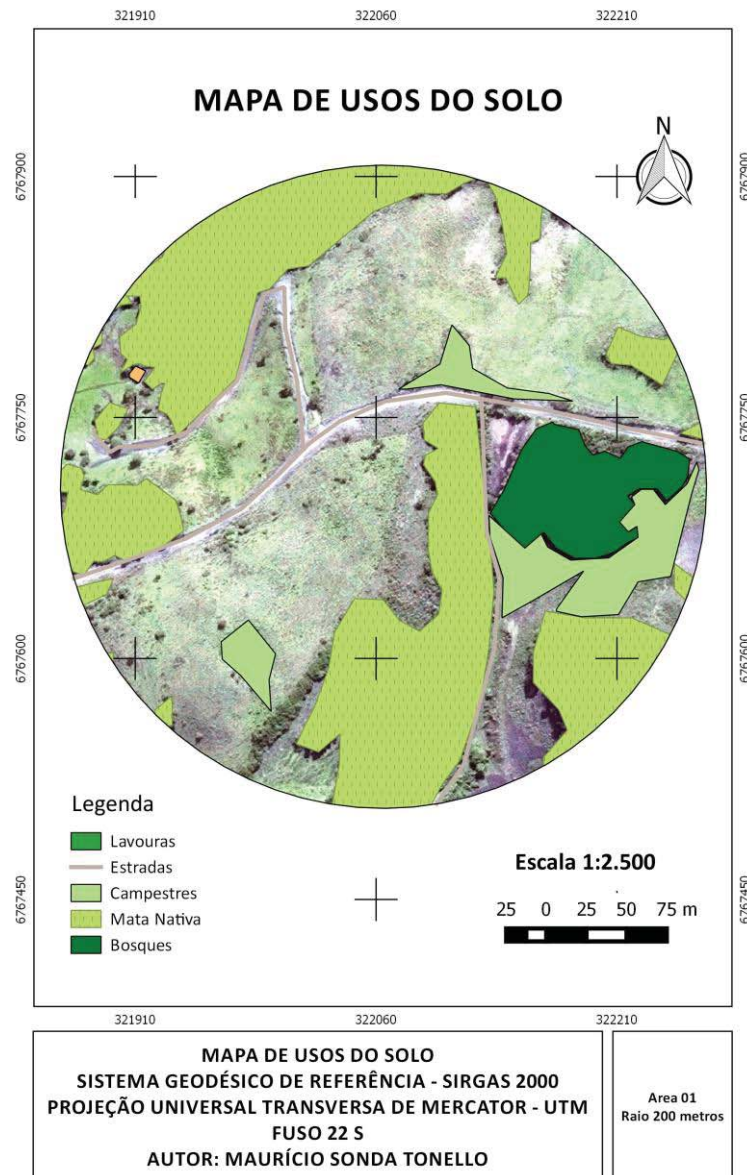
Apêndice 8:

Atributos determinados em solos na paisagem de garimpo. Sendo Cu (cobre), Zn (Zinco), Mn (Manganês), CTC (capacidade de troca de cátions), DS (densidade do solo), DP¹ (densidade de partículas) e DP² (desvio padrão)

Unidades	Cu	Zn	Mn	CTC Efetiva	CTC pH 7	DS	DP ¹	Areia	Silte	Argila
	mg kg ⁻³			cmol _c kg ⁻¹		g cm ⁻³		%		
6	1,63	92,95	56,28	27,93	75,28	1,28	2,50	58,12	17,95	23,93
7	5,82	41,02	10,16	30,34	65,70	1,02	2,86	49,77	24,70	25,52
10	11,81	50,58	87,94	20,74	61,63	1,04	2,50	50,04	32,28	17,68
11	26,80	109,92	60,21	24,43	72,03	1,28	2,50	48,92	18,07	33,01
Media	11,52	73,62	53,65	25,86	68,66	1,16	2,59	51,71	23,25	25,04
DP ²	11,01	33,09	32,23	4,19	6,15	0,14	0,18	4,30	6,80	6,30
Máximo	26,80	109,92	87,94	30,34	75,28	1,28	2,86	58,12	32,28	33,01
Mínimo	1,63	41,02	10,16	20,74	61,63	1,02	2,50	48,92	17,95	17,68

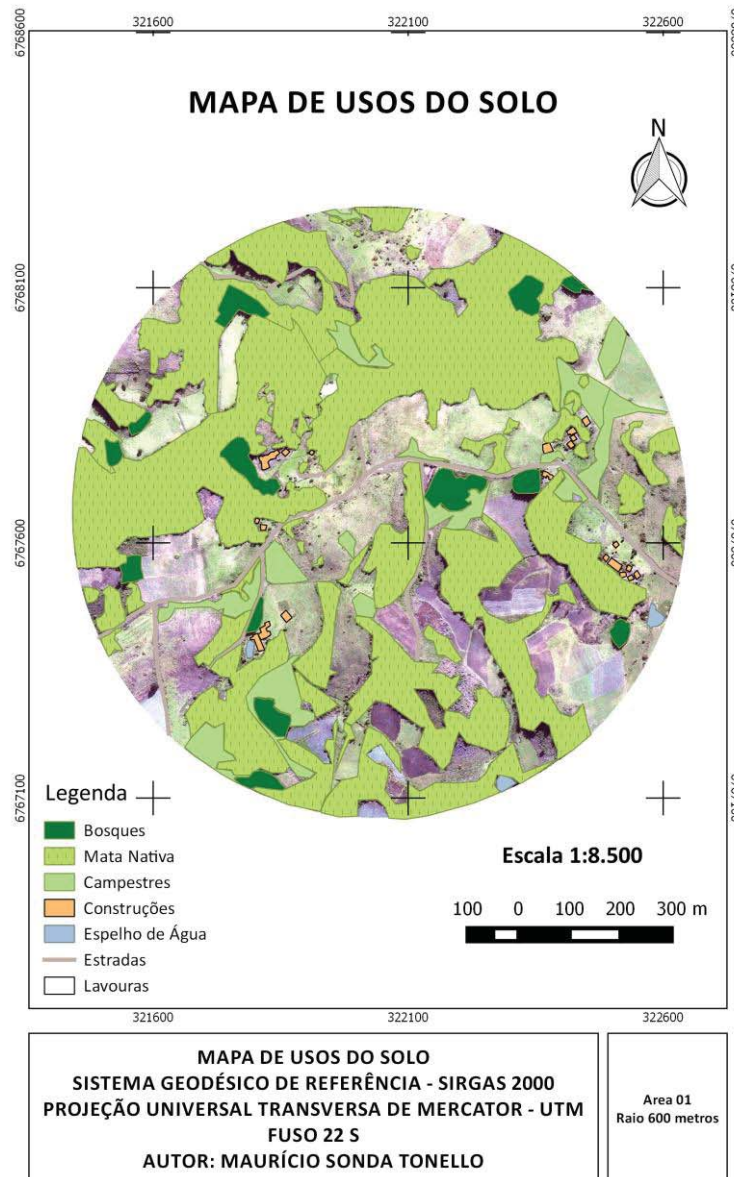
Apêndice 9:

Mapa de usos do solo – Unidade 1 – Raio 200 metros.



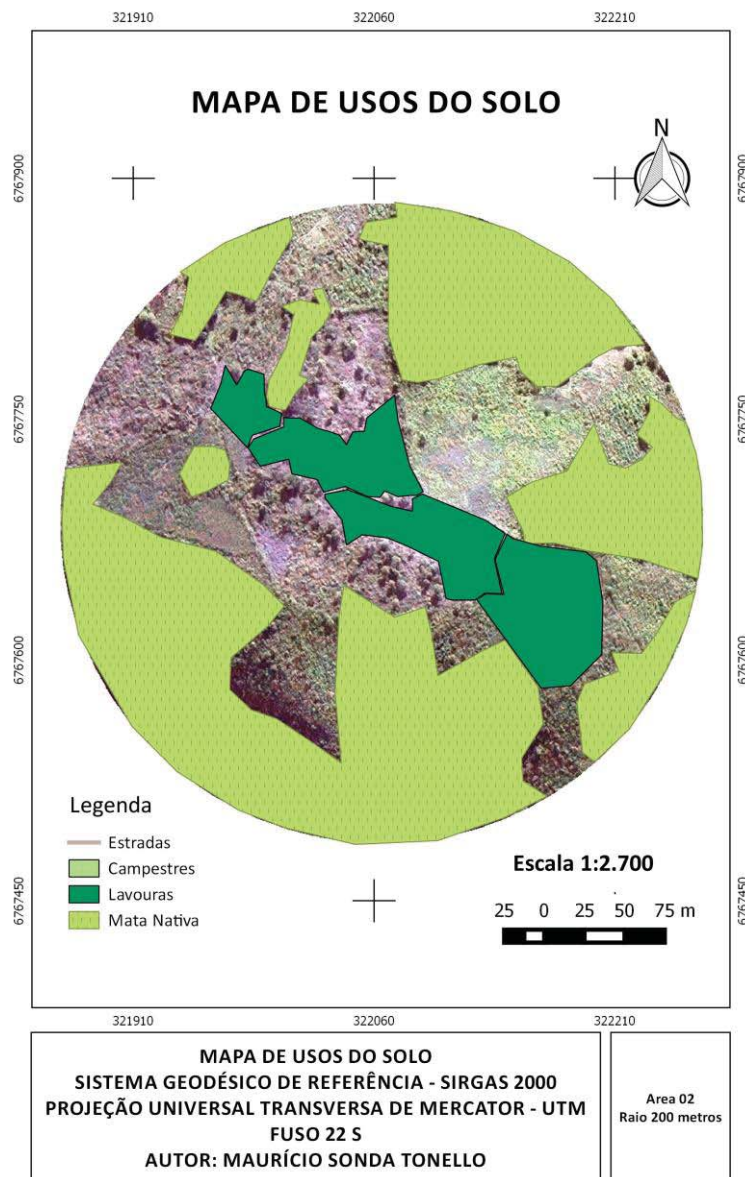
Apêndice 10:

Mapa de usos do solo – Unidade 1 – Raio 600 metros.



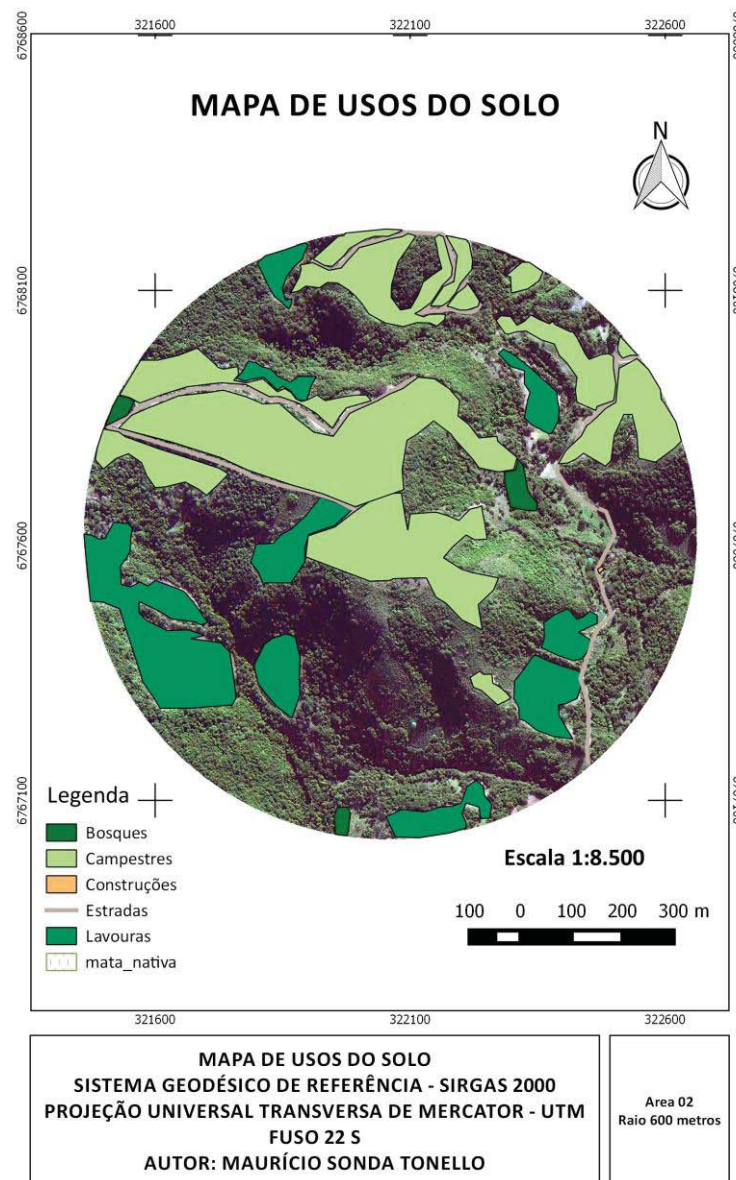
Apêndice 11:

Mapa de usos do solo – Unidade 2 – Raio 200 metros.



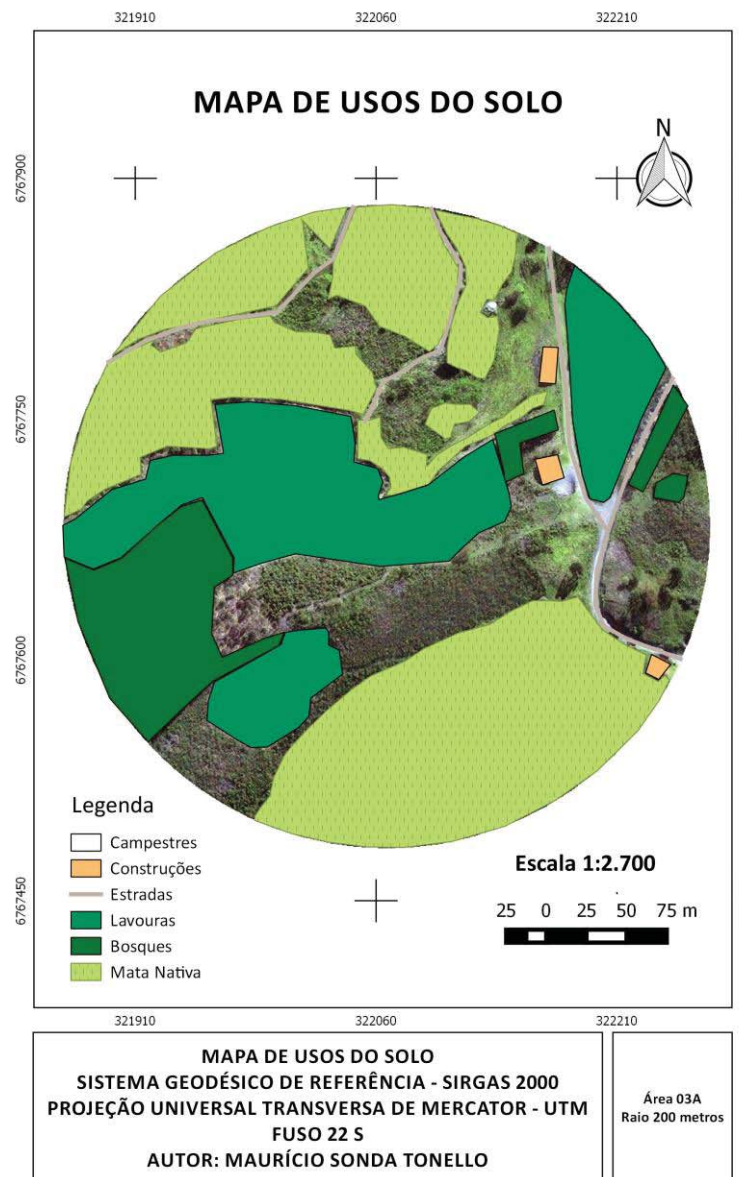
Apêndice 12:

Mapa de usos do solo – Unidade 2 – Raio 600 metros.



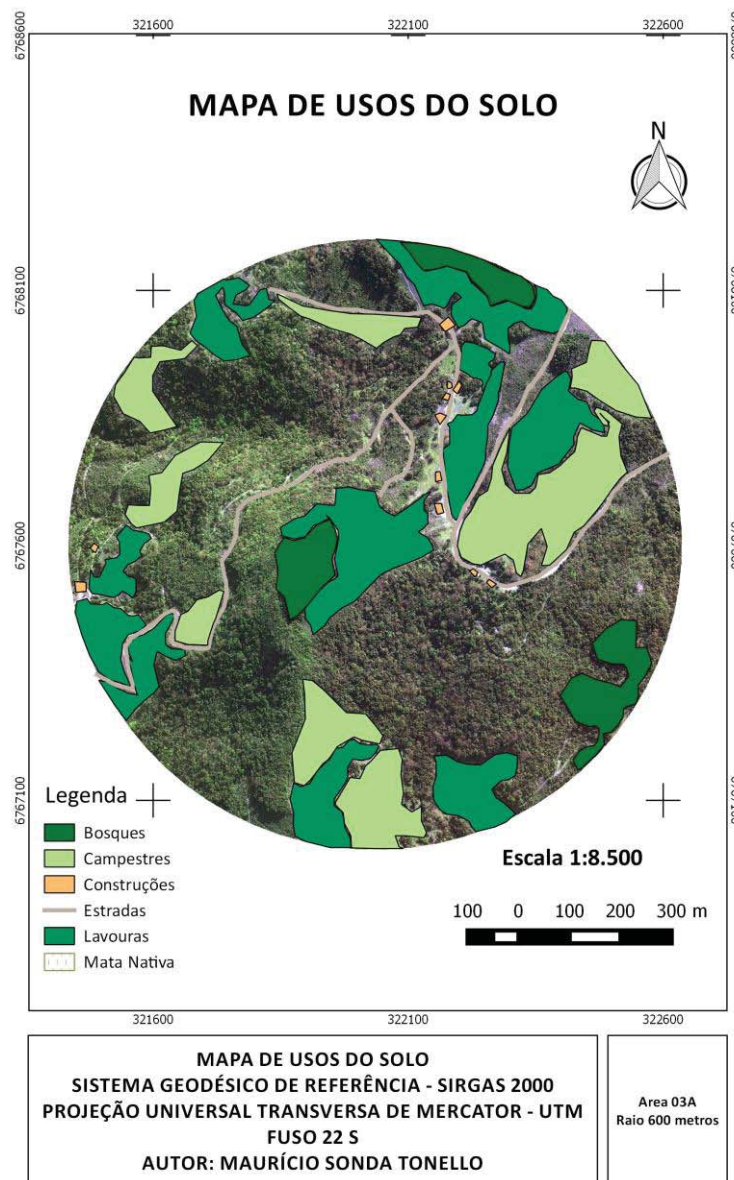
Apêndice 13:

Mapa de usos do solo – Unidade 3a – Raio 200 metros.



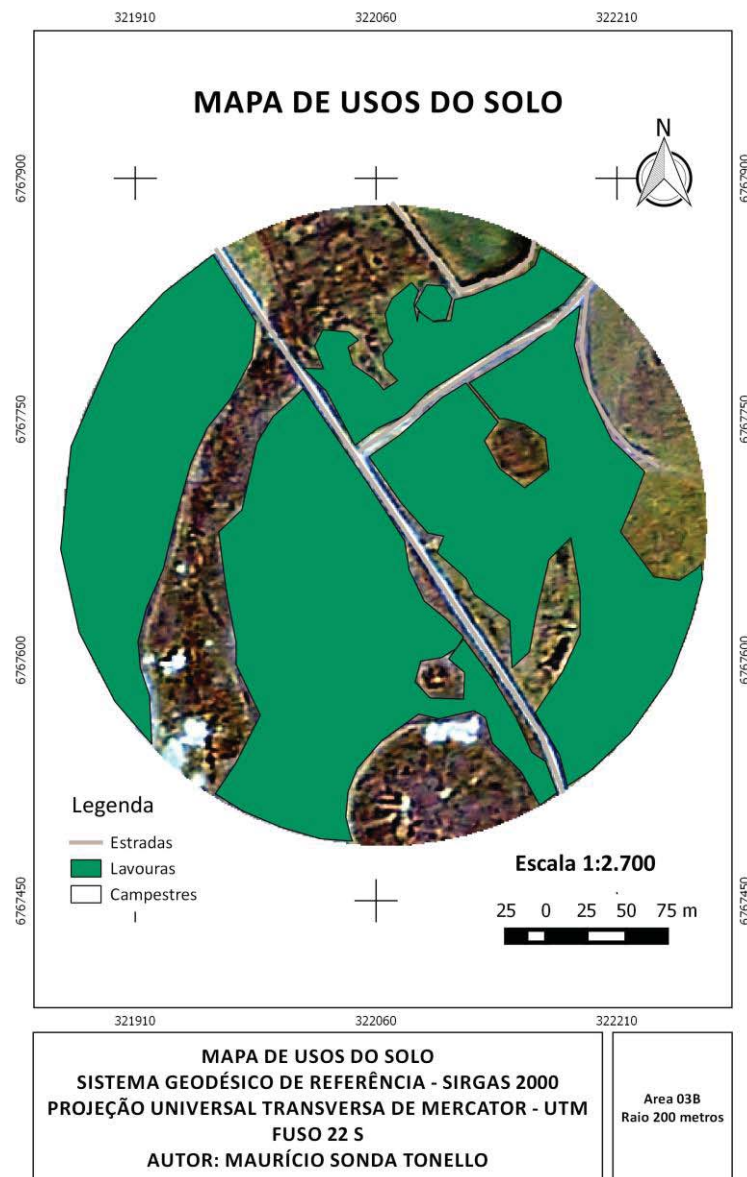
Apêndice 14:

Mapa de usos do solo – Unidade 3a – Raio 600 metros.



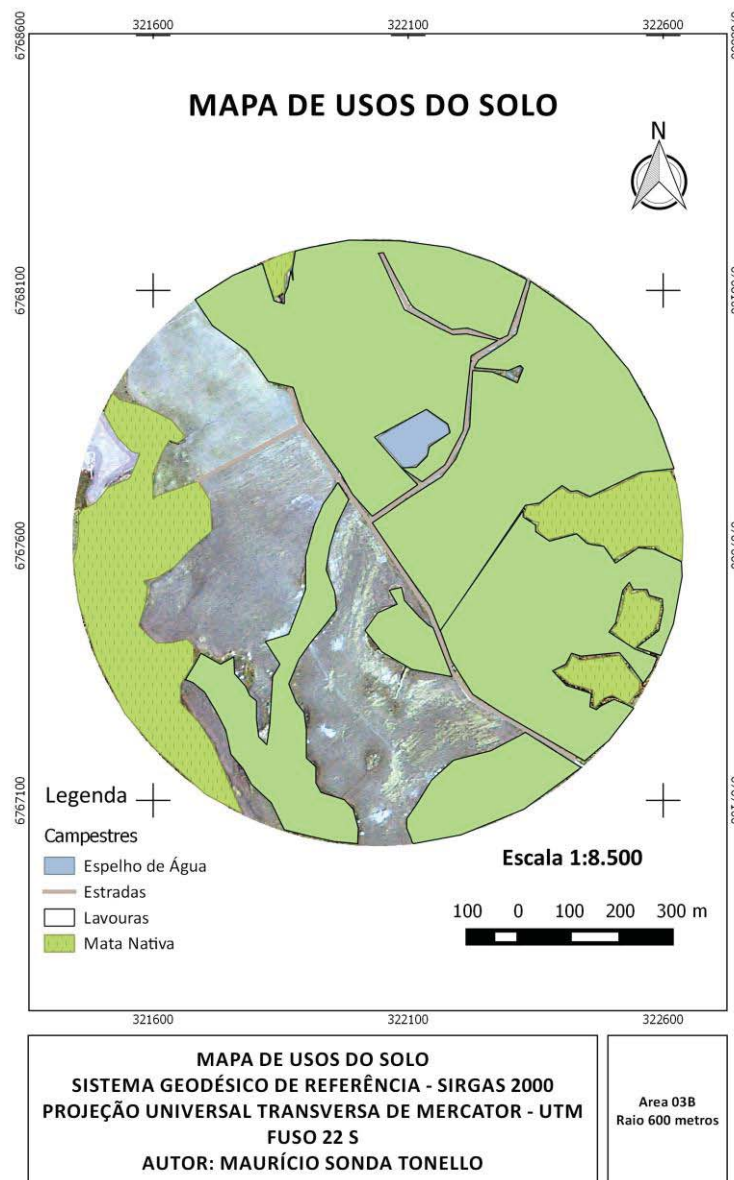
Apêndice 15:

Mapa de usos do solo – Unidade 3b – Raio 200 metros.



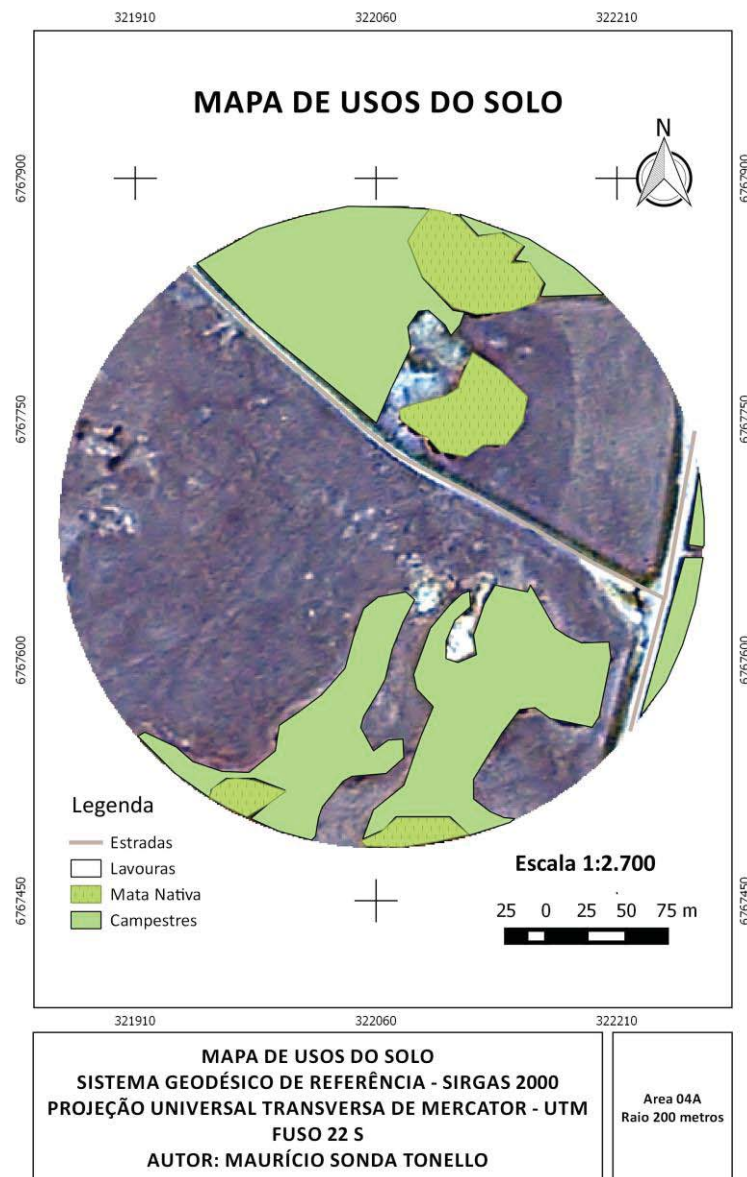
Apêndice 16:

Mapa de usos do solo – Unidade 3b – Raio 600 metros.



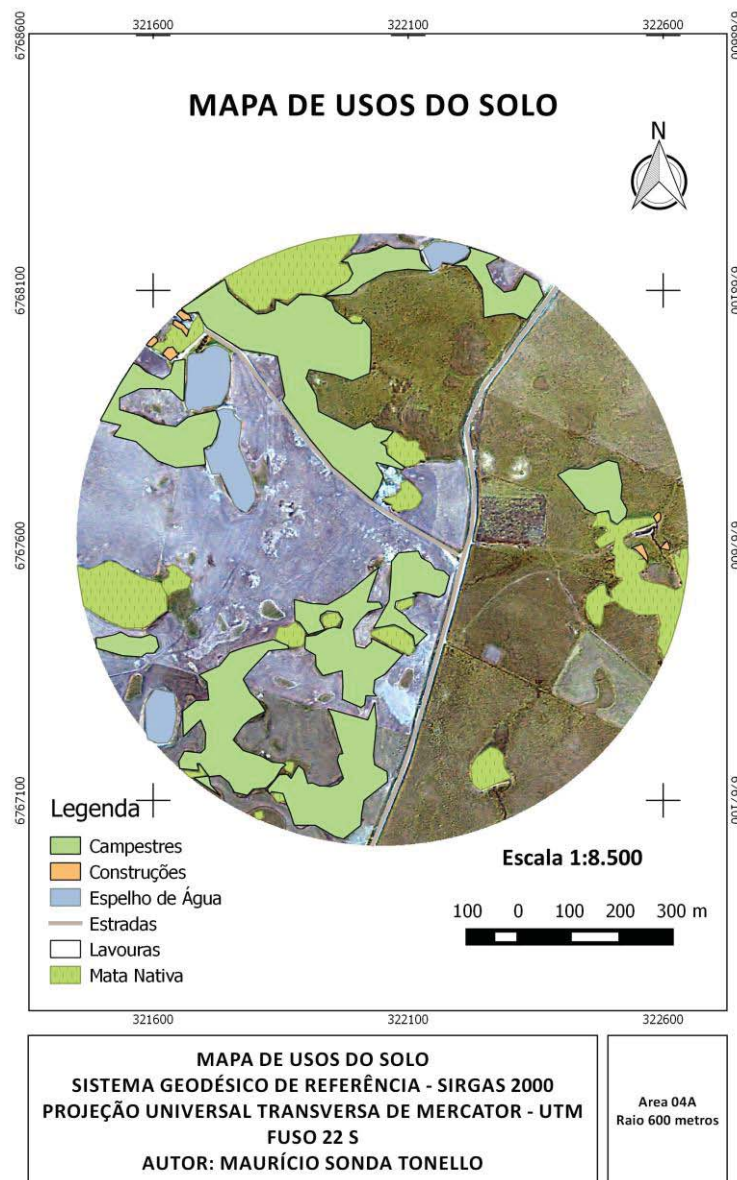
Apêndice 17:

Mapa de usos do solo – Unidade 4a – Raio 200 metros.



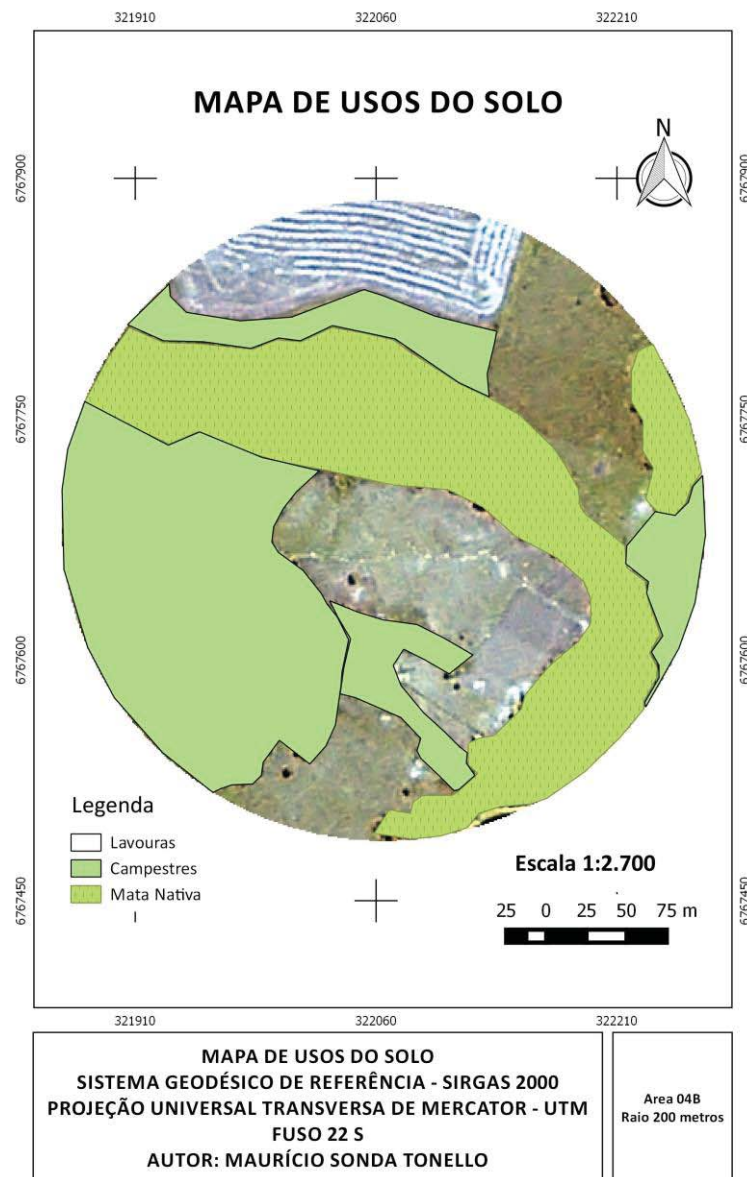
Apêndice 18:

Mapa de usos do solo – Unidade 4a – Raio 600 metros.



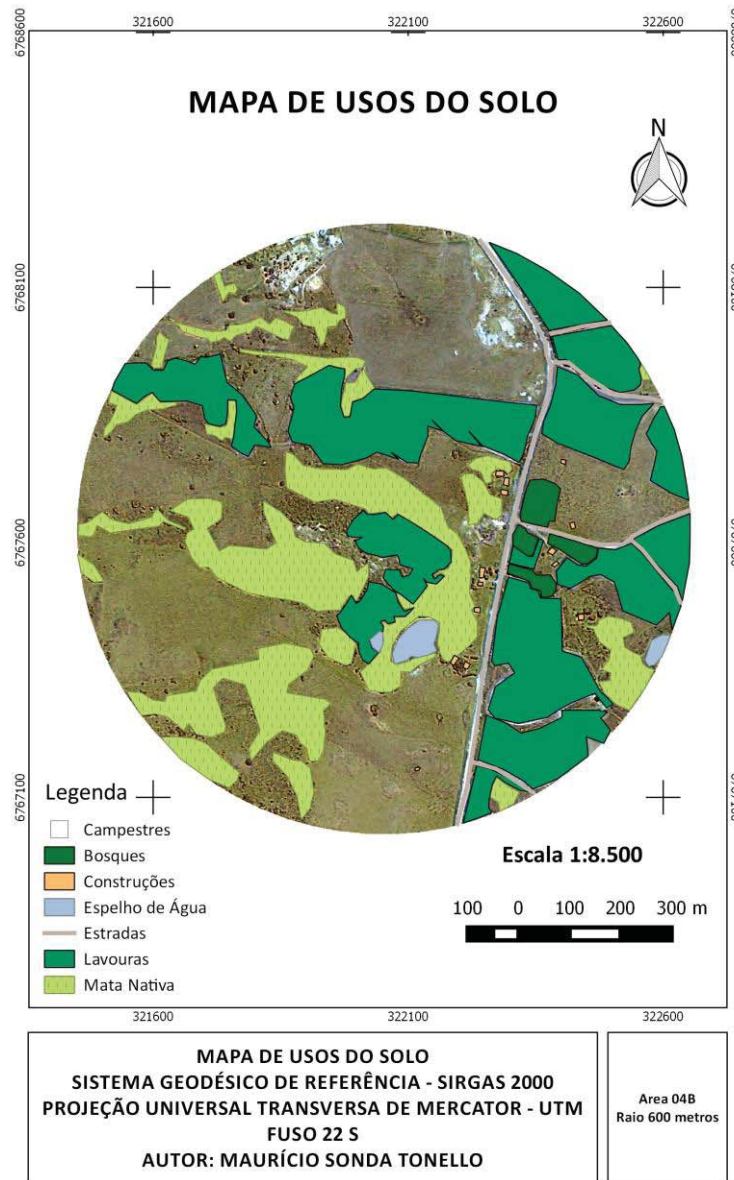
Apêndice 19:

Mapa de usos do solo – Unidade 4b – Raio 200 metros.



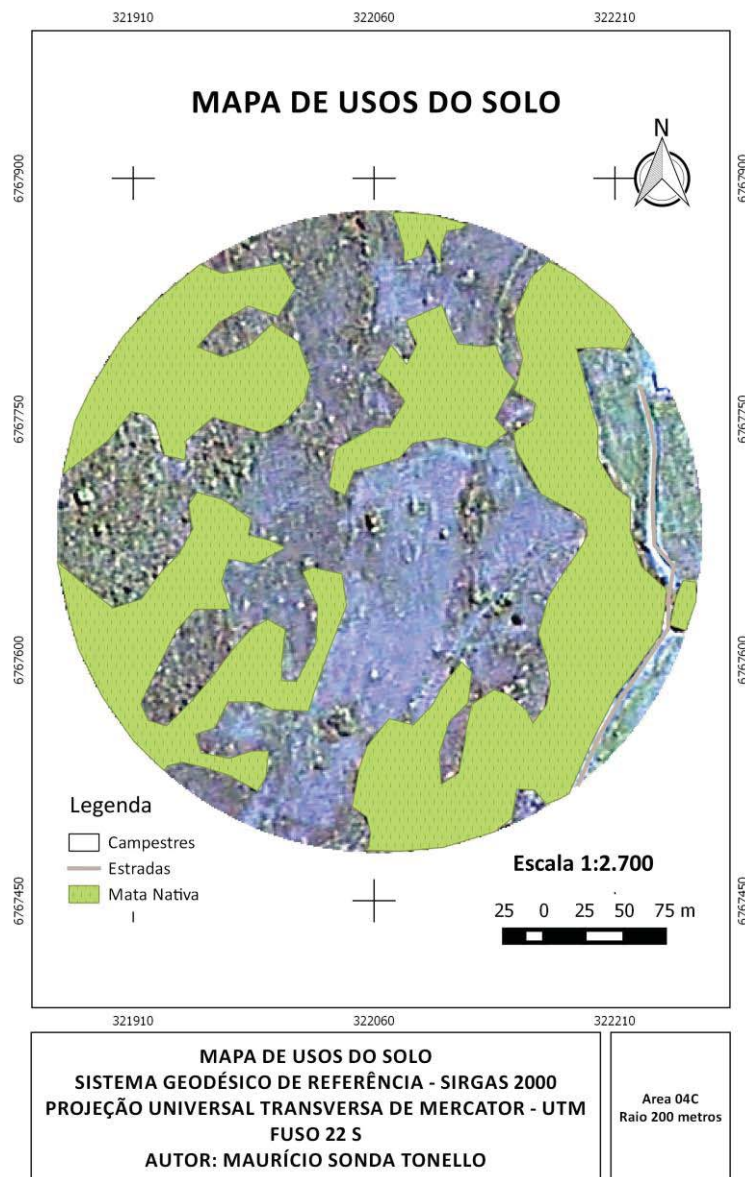
Apêndice 20:

Mapa de usos do solo – Unidade 4b – Raio 600 metros.



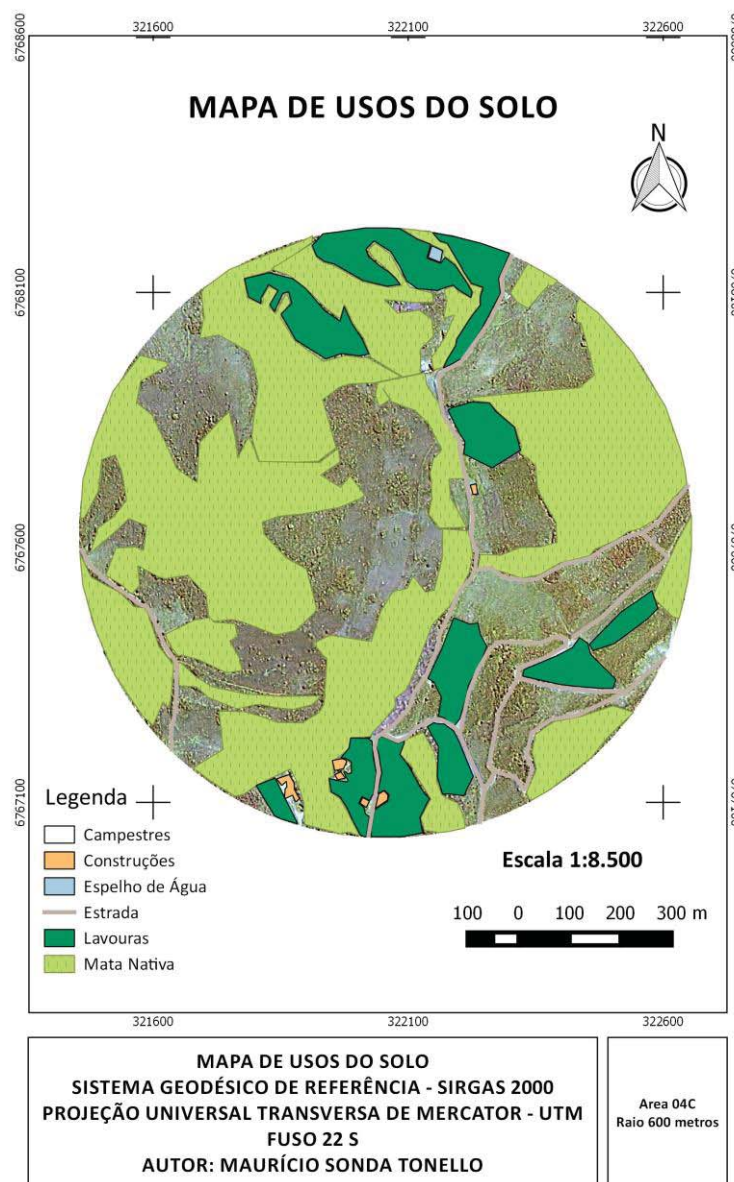
Apêndice 21:

Mapa de usos do solo – Unidade 4c – Raio 200 metros.



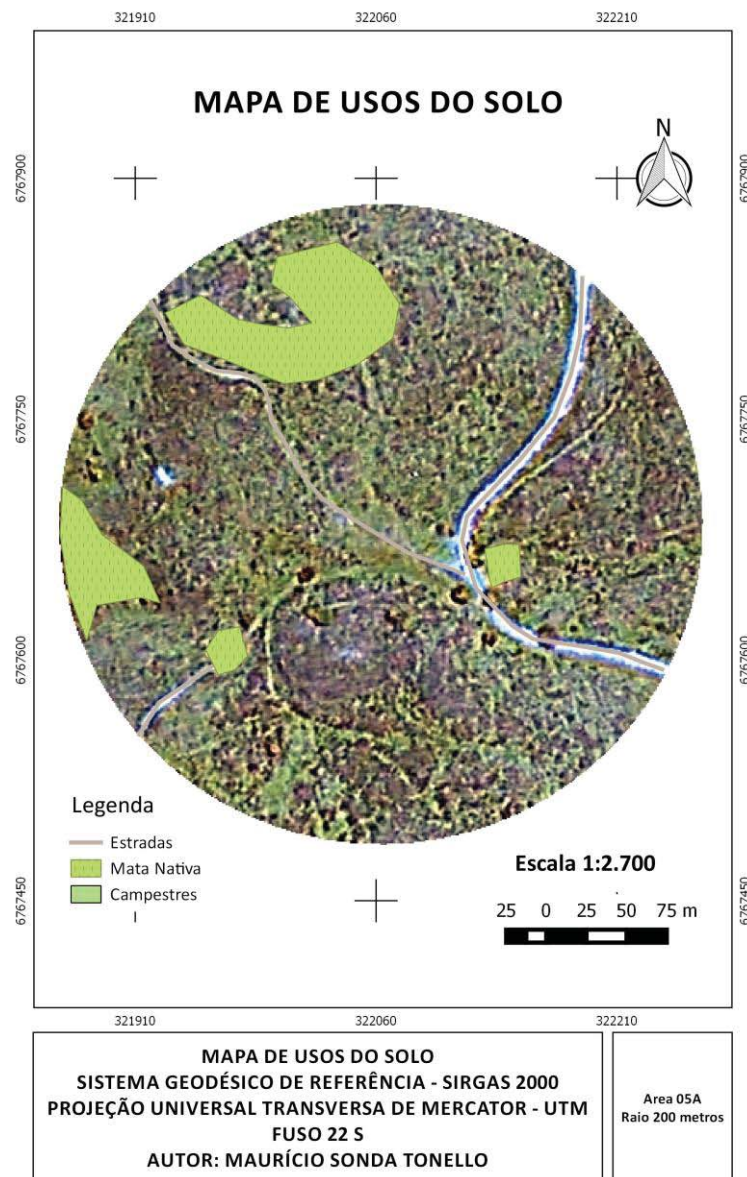
Apêndice 22:

Mapa de usos do solo – Unidade 4c – Raio 600 metros.



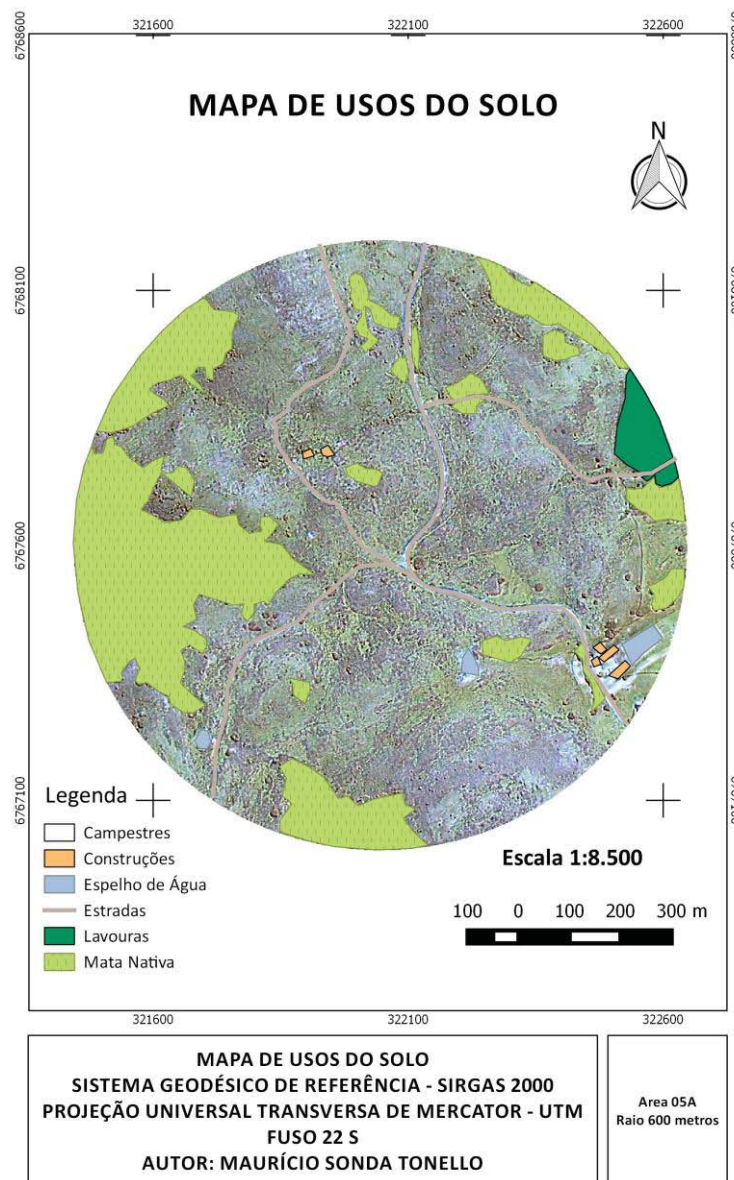
Apêndice 23:

Mapa de usos do solo – Unidade 5a – Raio 200 metros.



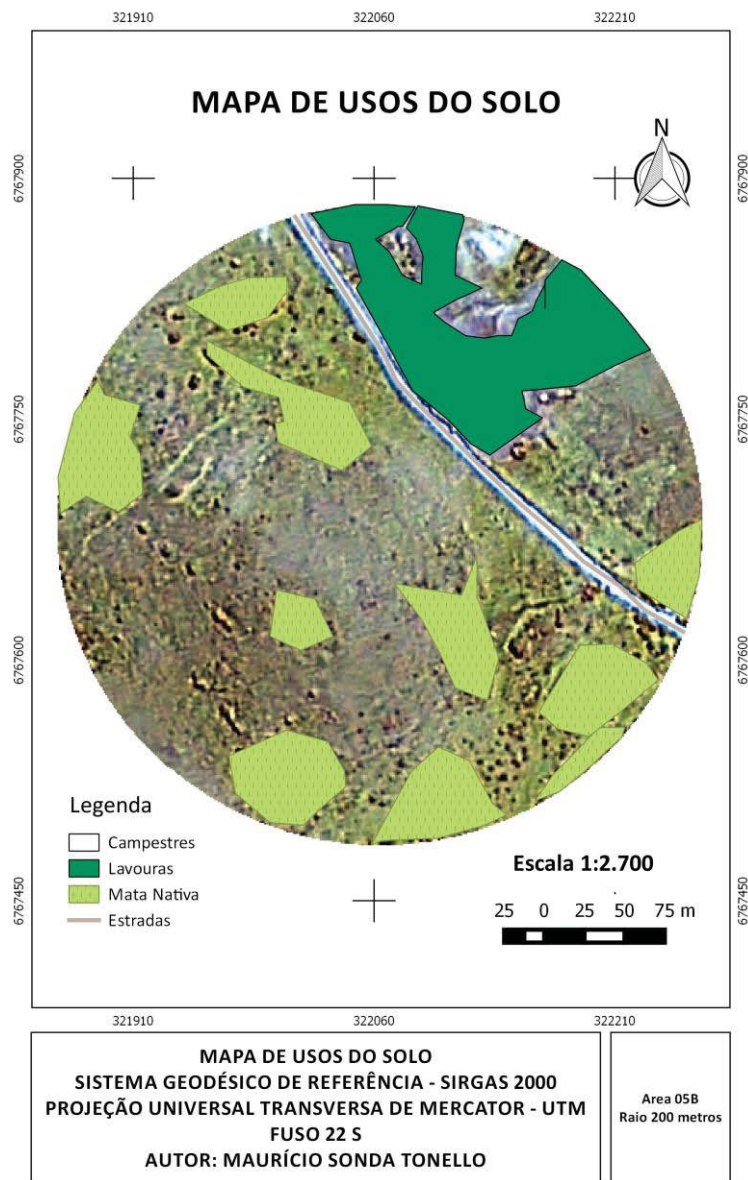
Apêndice 24:

Mapa de usos do solo – Unidade 5a – Raio 600 metros.



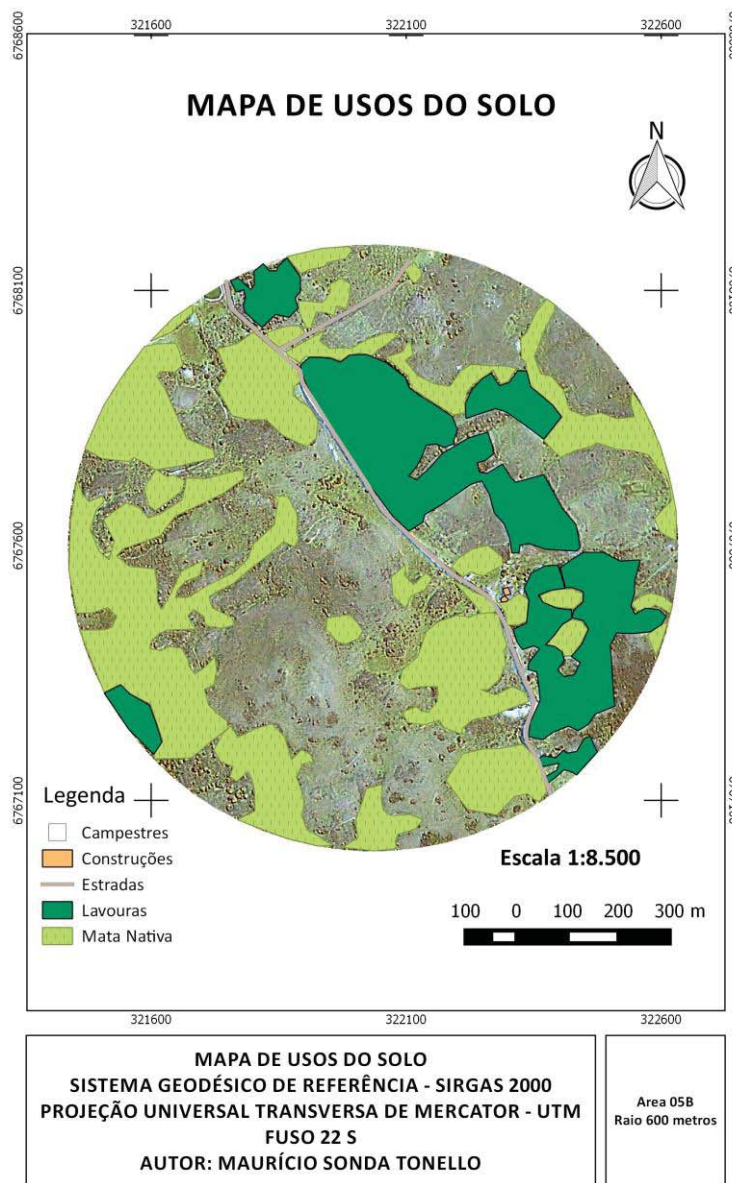
Apêndice 25:

Mapa de usos do solo – Unidade 5b – Raio 200 metros.



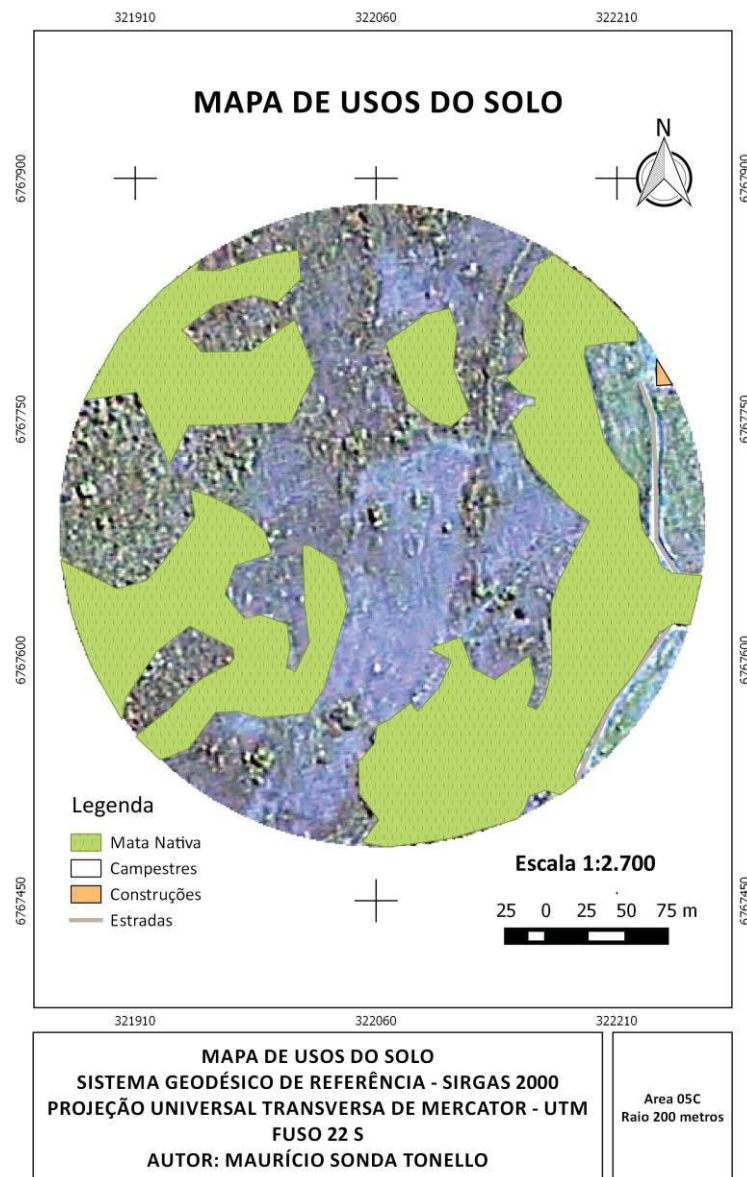
Apêndice 26:

Mapa de usos do solo – Unidade 5b – Raio 600 metros.



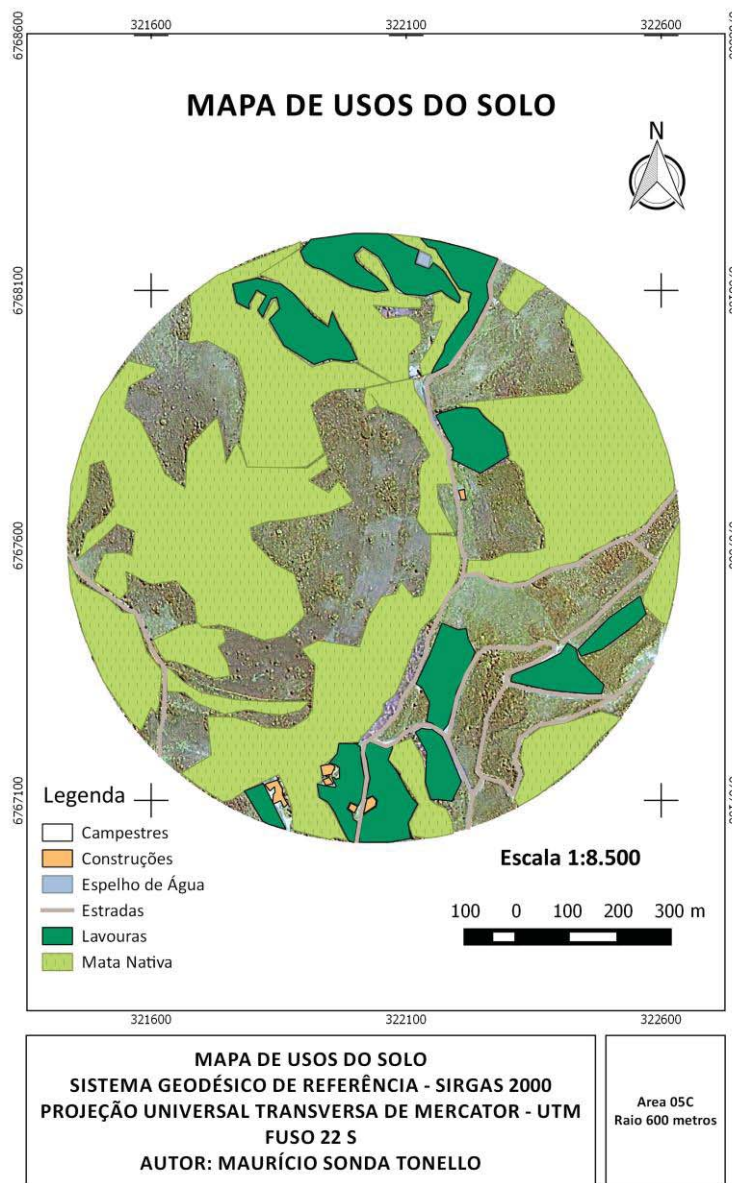
Apêndice 27:

Mapa de usos do solo – Unidade 5c – Raio 200 metros.



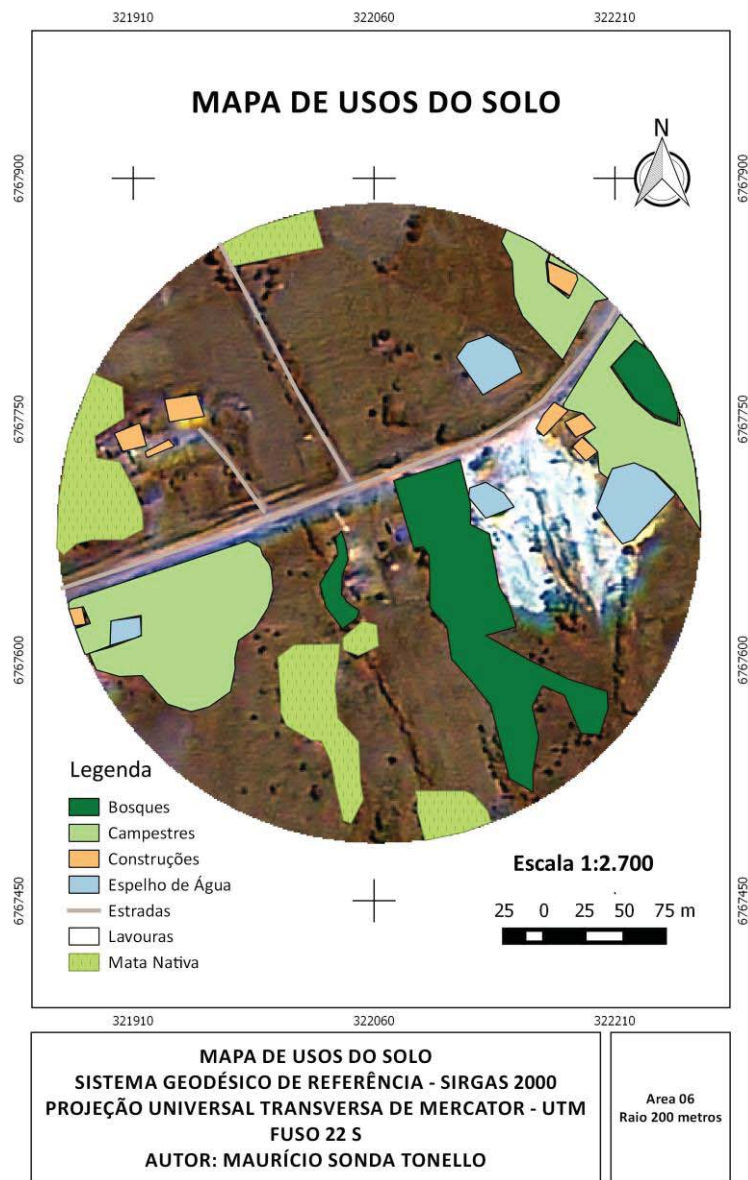
Apêndice 28:

Mapa de usos do solo – Unidade 5c – Raio 600 metros.



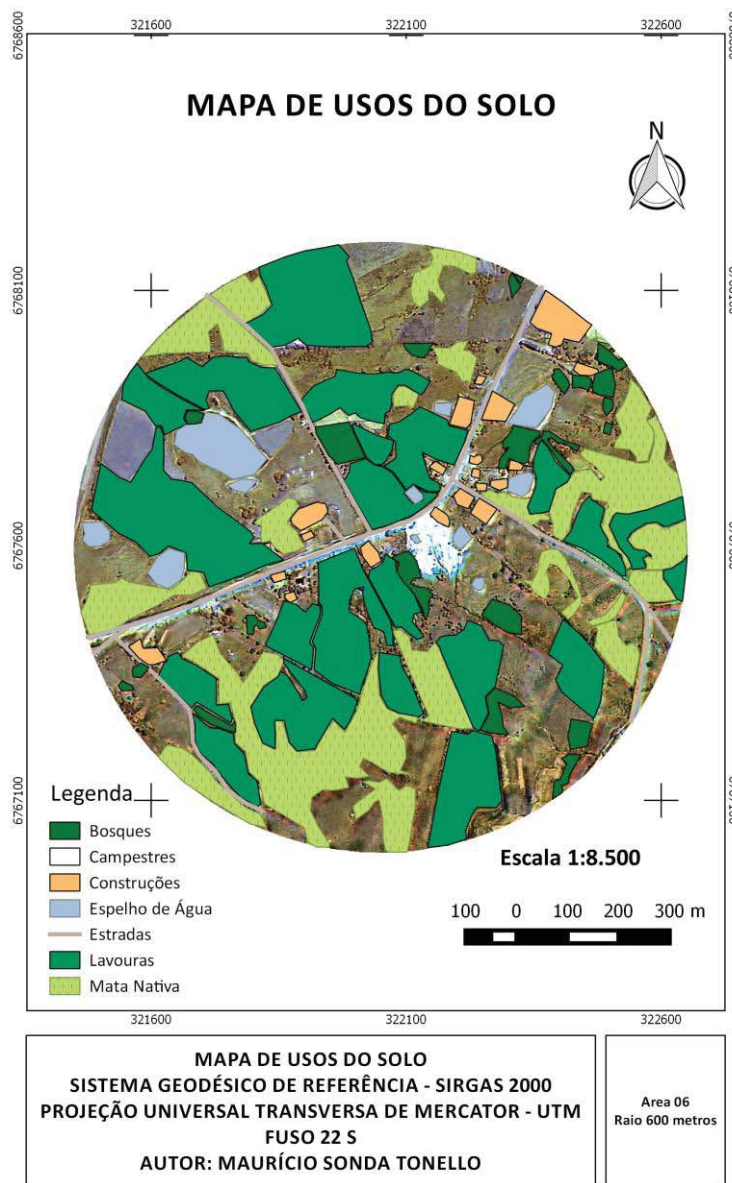
Apêndice 29:

Mapa de usos do solo – Unidade 6 – Raio 200 metros.



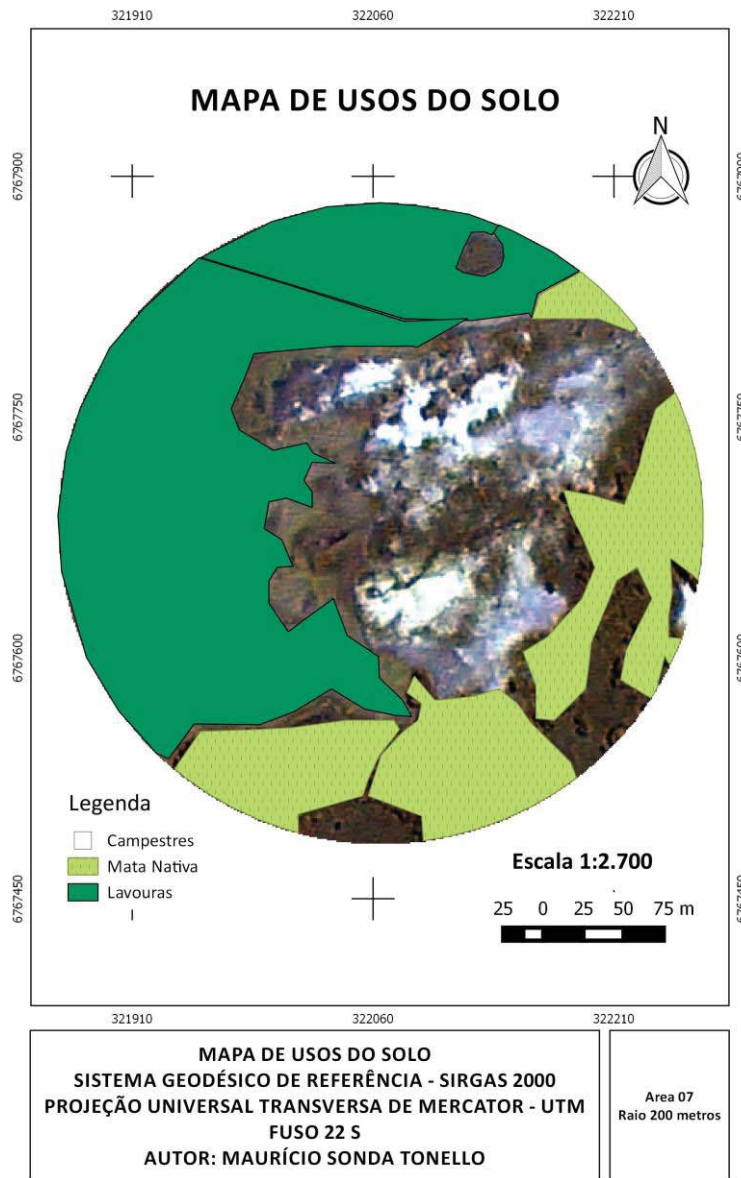
Apêndice 30:

Mapa de usos do solo – Unidade 6 – Raio 600 metros.



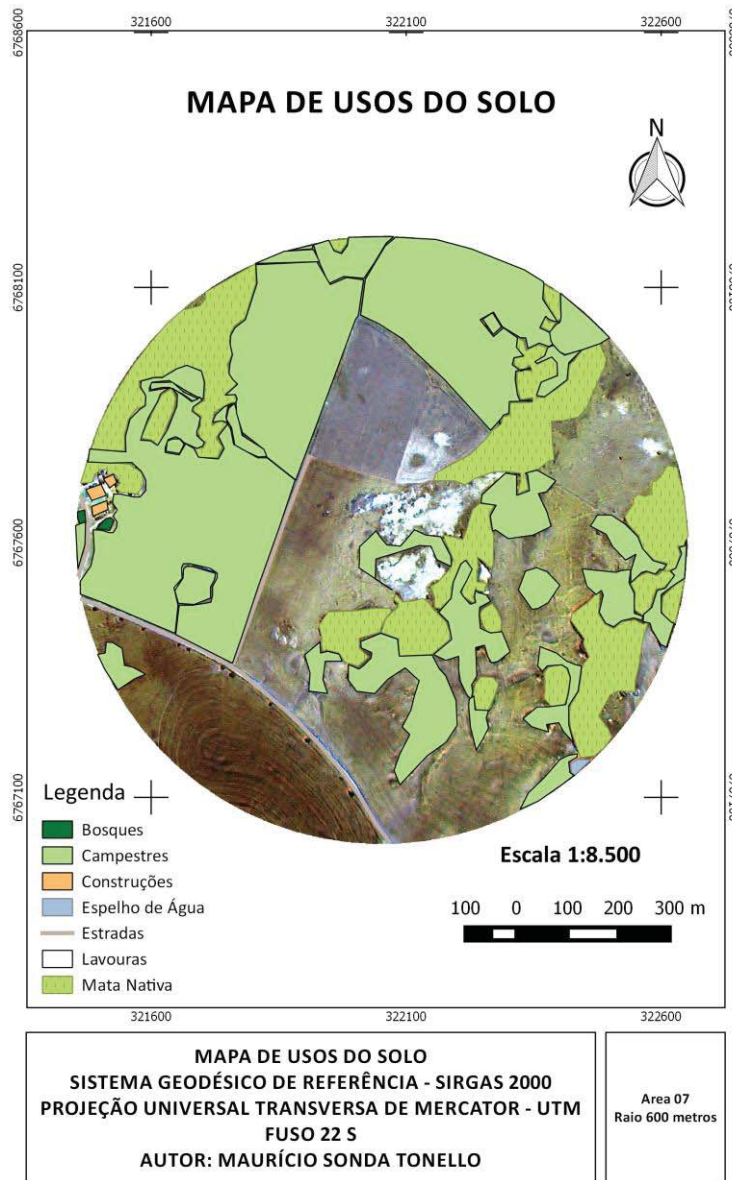
Apêndice 31:

Mapa de usos do solo – Unidade 7 – Raio 200 metros.



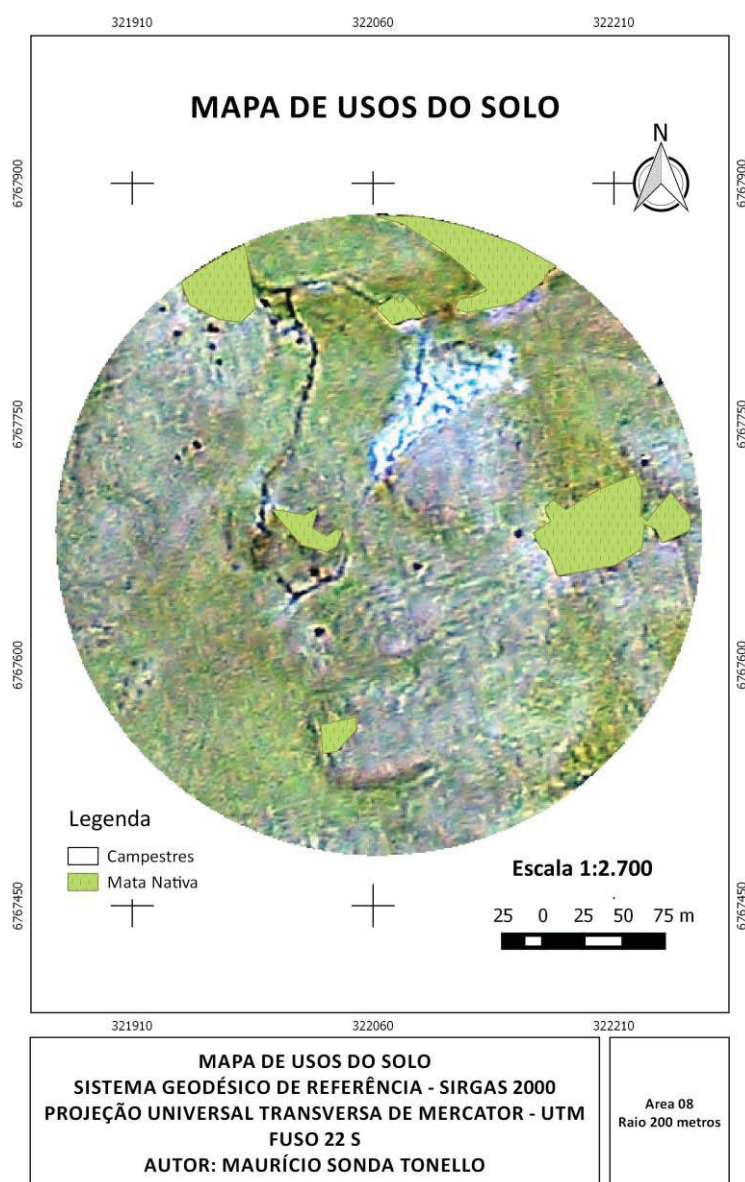
Apêndice 32:

Mapa de usos do solo – Unidade 7 – Raio 600 metros.



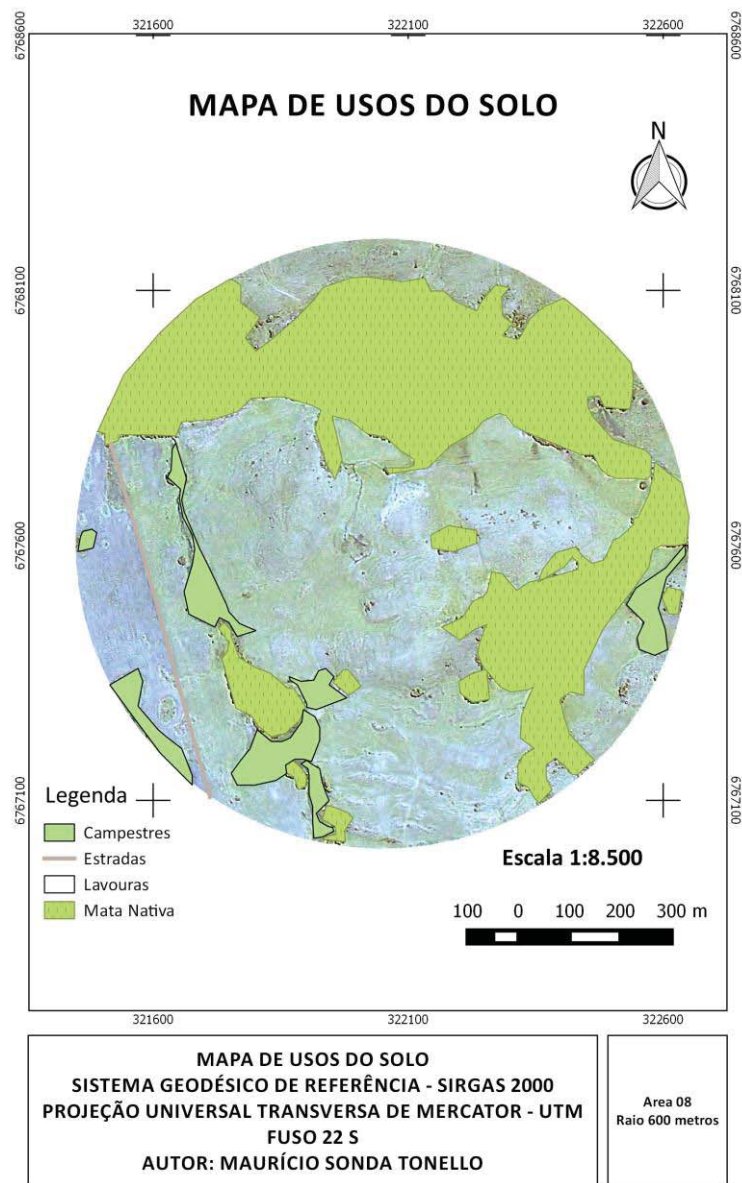
Apêndice 33:

Mapa de usos do solo – Unidade 8 – Raio 200 metros.



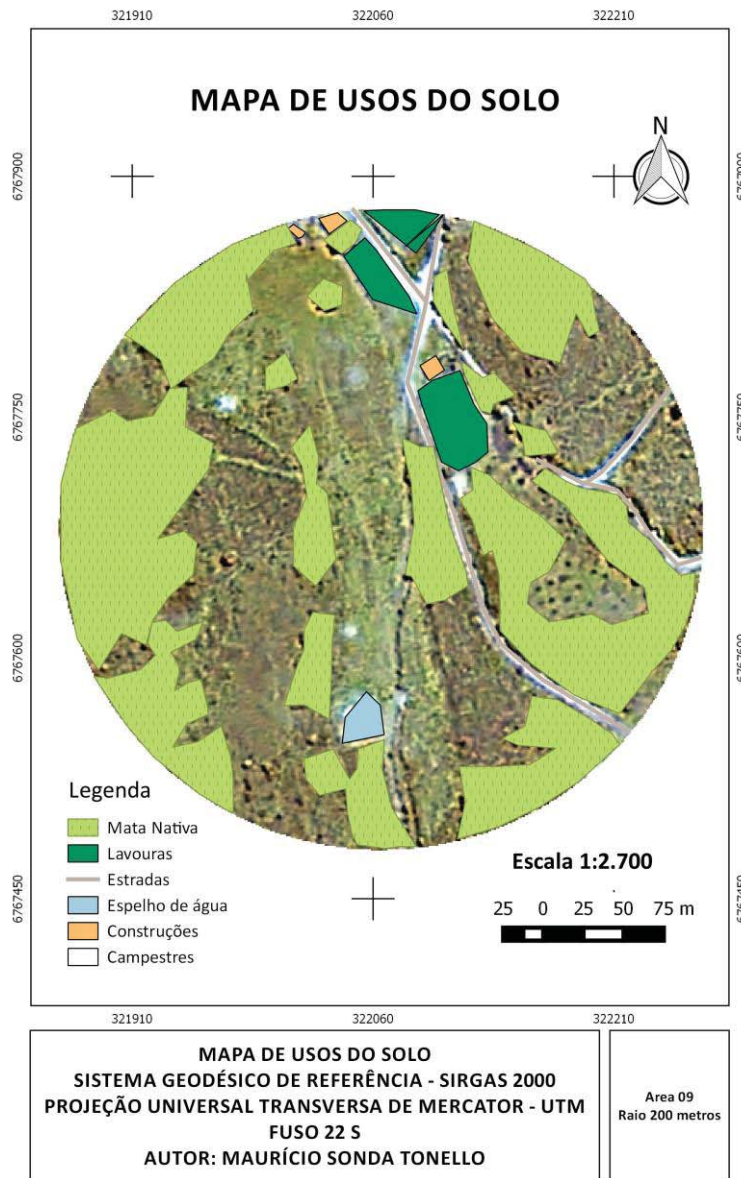
Apêndice 34:

Mapa de usos do solo – Unidade 8 – Raio 600 metros.



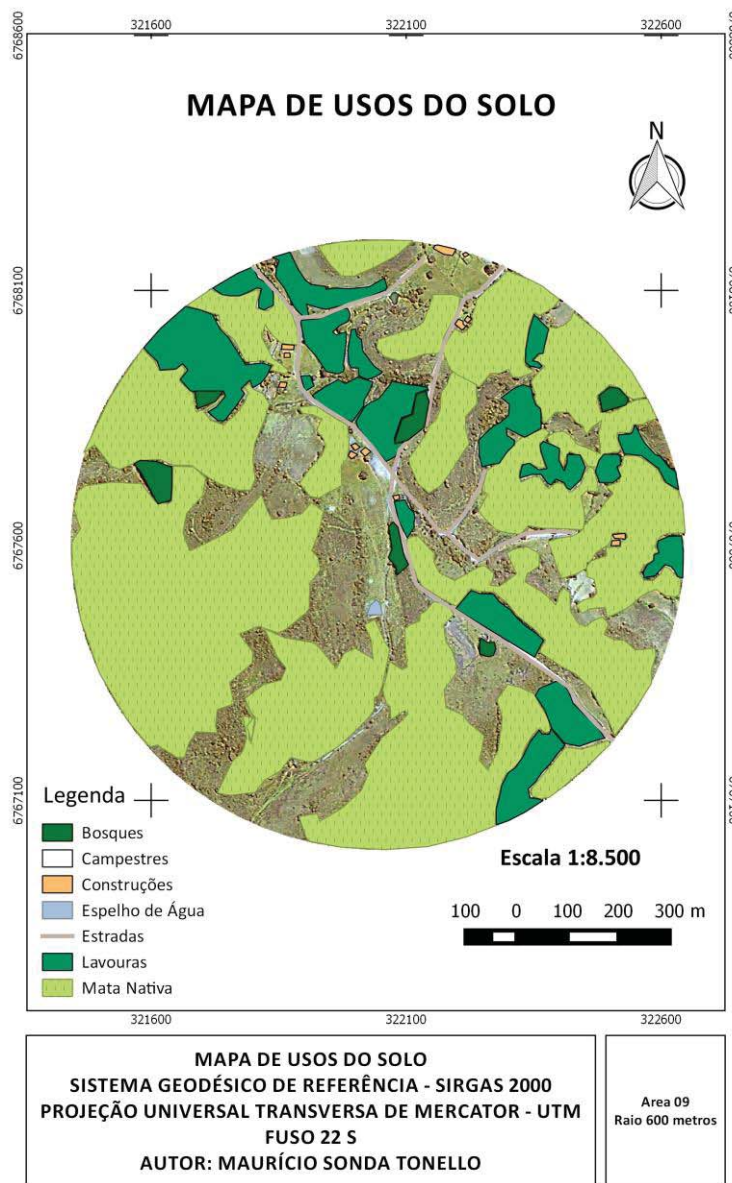
Apêndice 35:

Mapa de usos do solo – Unidade 9 – Raio 200 metros.



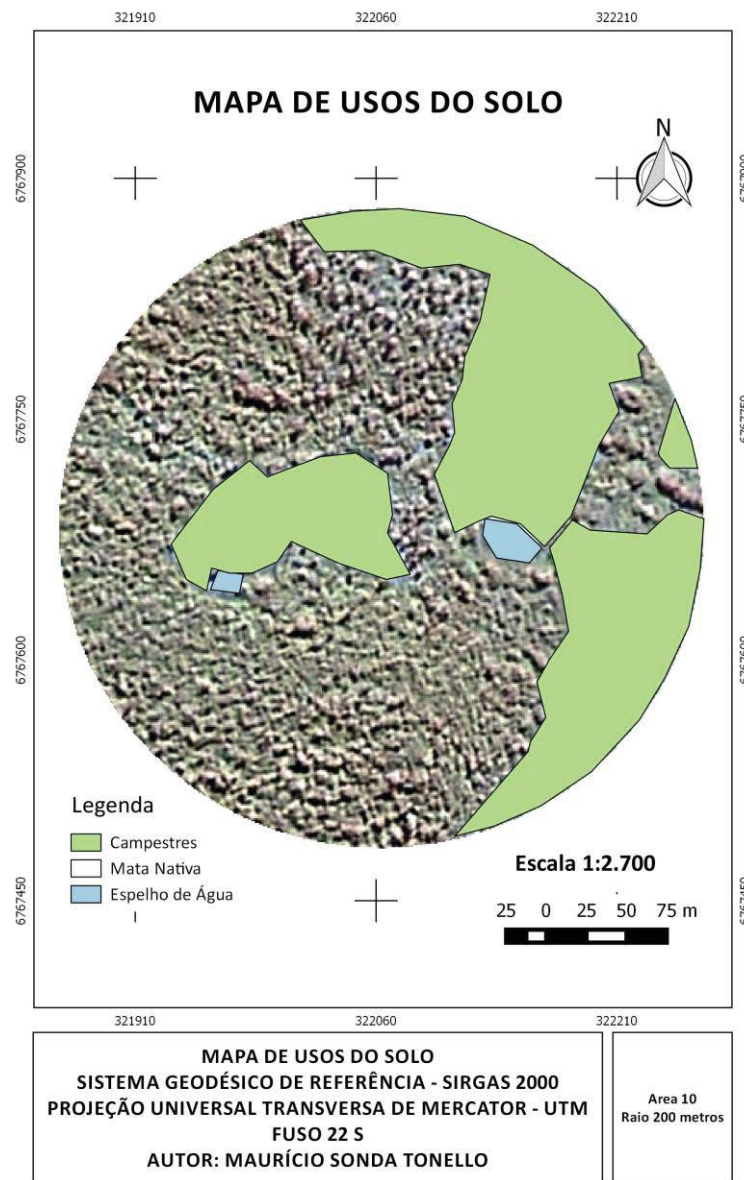
Apêndice 36:

Mapa de usos do solo – Unidade 9 – Raio 600 metros.



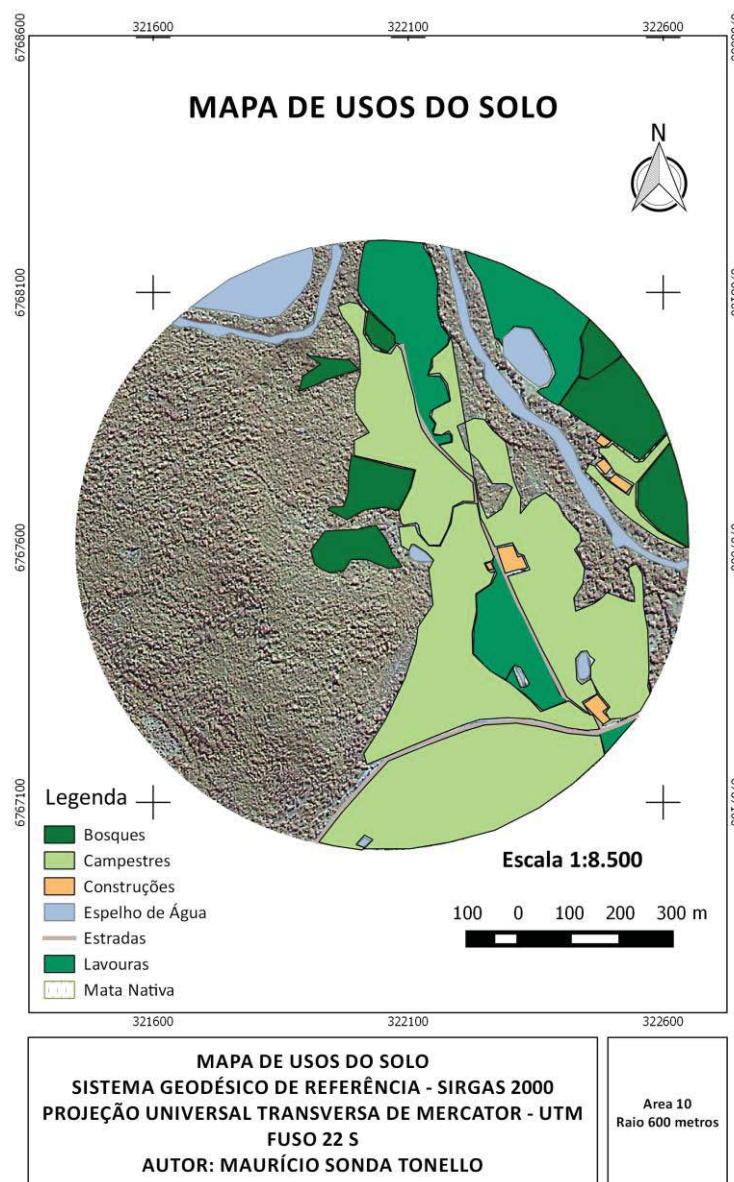
Apêndice 37:

Mapa de usos do solo – Unidade 10 – Raio 200 metros.



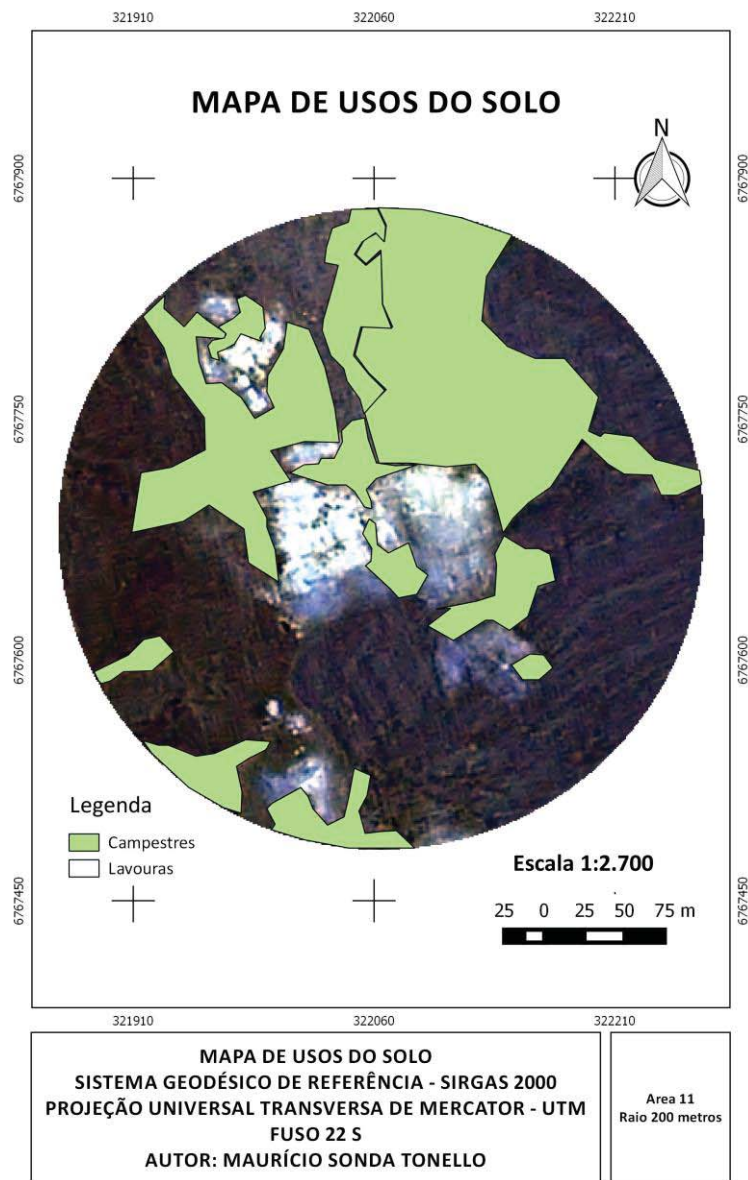
Apêndice 38:

Mapa de usos do solo – Unidade 10 – Raio 600 metros.



Apêndice 39:

Mapa de usos do solo – Unidade 11 – Raio 200 metros.



Apêndice 40:

Mapa de usos do solo – Unidade 11 – Raio 600 metros.

