

UFRRJ

INSTITUTO DE FLORESTAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DOS CICLOS DE ALAGAMENTO EM
ÁREAS DE MINERAÇÃO NA AMAZÔNIA

FÁBIO DE CARVALHO NASSER

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DOS CICLOS DE ALAGAMENTO EM
ÁREAS DE MINERAÇÃO NA AMAZÔNIA

FÁBIO DE CARVALHO NASSER

Sob orientação do professor

Márcio Rocha Francelino

Dissertação submetida como
requisito parcial para
obtenção do grau de **Mestre
em Ciências**, no Curso de
Pós-Graduação em Ciências
Ambientais e Florestais,
Área de Concentração em
Conservação da Natureza.

Seropédica, RJ

agosto de 2022

Ficha Catalográfica

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N267d

Nasser, Fabio de Carvalho, 1983-
Dinâmica espaço-temporal dos ciclos de alagamento em
áreas de mineração na Amazônia / Fabio de Carvalho
Nasser. - Rio de Janeiro, 2022.
67 f.: il.

Orientador: Marcio Rocha Francelino.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais e Florestais, 2022.


1. Inundação . 2. Recuperação de áreas degradadas.
3. Sensoriamento remoto. 4. GPR. I. Francelino,
Marcio Rocha, 1966-, orient. II Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais e Florestais III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS


FÁBIO DE CARVALHO NASSER

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.


DISSERTAÇÃO/TESE APROVADA EM 31 / 08 / 2022

Documento assinado digitalmente
 **MARCIO ROCHA FRANCELINO**
Data: 13/03/2024 00:37:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Márcio Rocha Francelino. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA**
Data: 13/03/2024 13:25:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Bruno Araújo Furtado de Mendonça. Dr. UFRRJ

Documento assinado digitalmente
 **VALDINAR FERREIRA MELO**
Data: 13/03/2024 22:52:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Valdinar Ferreira Melo. Dr. UFRR

AGRADECIMENTOS

Com imensa satisfação, agradeço ao meu mestre e orientador professor Dr Márcio Rocha Francelino, pelas práticas, dedicação e sobretudo seus ensinamentos. Agradeço a minha família, pelo apoio, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais – PPGCAF da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ. Ao laboratório de solos da Universidade Federal de Viçosa – UFV, pela ajuda com as análises químicas das amostras de solos das áreas em recuperação.

Agradeço a todos os professores pelas disciplinas ministradas e práticas de campo, no qual contribuíram muito para o meu aperfeiçoamento científico e profissional. Especial agradecimento aos técnicos e auxiliares administrativos, no qual sempre trabalharam para o aperfeiçoamento e manutenção das atividades mantendo o nível de excelência da instituição.

Gratidão aos técnicos da Brascan na devido a contribuição durante as atividades de campo na Floresta Nacional do Jamari – RO, especialmente ao Eng. Florestal Herlon.

Aos membros da banca, professores Valdinar Ferreira Melo e Bruno Mendonça.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma, foram pacientes tolerantes e colaborativos ao longo dessa jornada.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”

RESUMO

NASSER, Fábio de Carvalho. **Dinâmica Espaço-Temporal dos Ciclos de Alagamento em Áreas de Mineração na Amazônia.** 2022. 66p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, Conservação da Natureza). Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

Devido às alterações na paisagem causadas pela atividade da mineração, os processos de restauração florestal são considerados mais complexos. A formação de novos corpos hídricos e zonas alagadas (ou sujeitas a alagamentos sazonais) é uma situação que necessita de estudos ainda mais detalhados em função da sua influência no ciclo hidrológico das áreas alteradas e que se encontram em recuperação, bem como na sua interferência no processo de revegetação. Esse trabalho objetivou quantificar e mapear áreas afetadas por inundações sazonais localizadas em minas de cassiterita desativadas localizadas na Floresta Nacional do Jamari, no estado de Rondônia, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e proximal, incluindo medições de umidade e temperatura do solo, além de avaliar se os solos da área apresentam restrições químicas e físicas ao desenvolvimento das plantas. Foram utilizados índices espectrais para analisar a dinâmica espaço-temporal das áreas alagáveis, além da instalação de dois sítios de monitoramento equipados com sensores de umidade (TDR) e de temperatura do solo. Foram coletadas amostras de solos para análise químicas para verificar algum nível tóxico proveniente da atividade de mineração. Assim como foi realizado a varredura com Radar de Penetração no Solo (GPR), para verificação das condições de saturação dos solos. Os resultados demonstraram evolução na maioria das áreas estudadas. O uso do sensoriamento remoto para obtenção do índice de diferença normalizada da água - NDWI, ao longo do período analisado, demonstrou que está ocorrendo evolução no processo de restauração florestal. Quanto a possível toxicidade de elementos químicos no solo, no setor Potosí área 01 e área 3, os valores Pb se situaram acima do valor de prevenção o que indica a possibilidade de ocorrência de efeitos prejudiciais à qualidade do solo e das águas. O GPR se mostrou eficiente na relação entre substrato predominante e saturação do solo nas áreas impactadas pelos alagamentos, demonstrando a profundidade do lençol freático, assim como os bolsões de sedimentação oriundos da atividade minerária. Nos sítios de monitoramento, as áreas apresentaram condição de saturação por água em cerca de 70% do período estudado, confirmando o ambiente impróprio para o desenvolvimento adequado para recuperação florestal.

Palavras-chave: Inundação, PRAD, Sensoriamento Remoto, GPR.

ABSTRACT

NASSER, Fabio de Carvalho. Spatial-Time Dynamics of Flooding Cycles in Mining Areas in the Amazon. 2022. 66p. Dissertation (Master's in Environmental and Forestry Sciences, Nature Conservation). Forestry Institute, Department of Environmental Sciences, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

Due to changes in the landscape caused by mining activity, forest restoration processes are considered more complex. The formation of new water bodies and flooded areas (or subject to seasonal flooding) is a situation that requires even more detailed studies in terms of their influence on the hydrological cycle of altered areas that are undergoing recovery, as well as their interference in the revegetation process. This work aimed to quantify and map areas affected by seasonal flooding located in deactivated cassiterite mines located in the Jamari National Forest, in the state of Rondônia, through remote and proximal sensing techniques, including soil moisture and temperature measurements, in addition to evaluate if the soils of the area present chemical and physical restrictions to the development of the plants. Spectral indices were used to analyze the spatial-temporal dynamics of the flooded areas, in addition to the installation of two monitoring sites equipped with soil moisture (TDR) and temperature sensors. Soil samples were collected for chemical analysis to check for any toxic level from the mining activity. As well as the scan with Soil Penetration Radar (GPR), to verify the saturation conditions of the soils. The results showed evolution in most of the studied areas. The use of remote sensing to obtain the normalized difference index of water - NDWI, over the analyzed period, demonstrated that evolution is taking place in the forest restoration process. As for the possible toxicity of chemical elements in the soil, in the Potosí sector, area 01 and area 3, the Pb values were above the prevention value, which indicates the possibility of harmful effects on soil and water quality. The GPR proved to be efficient in the relationship between predominant substrate and soil saturation in areas impacted by flooding, demonstrating the depth of the water table, as well as pockets of sedimentation arising from mining activity. In the monitoring sites, the areas presented a condition of water saturation in about 70% of the studied period, confirming the inappropriate environment for the adequate development for forest recovery.

Keywords: Flood, PRAD, Remote Sensing, GPR.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da FLONA Jamari, no estado de Rondônia / Minas em recuperação.	18
Figura 2 – Exemplo de área afetada por alagamento sazonal na mina Santa Maria. A área demarcada em preto corresponde a parte onde foram realizadas intervenções, como plantio de espécies florestais e drenagem.	19
Figura 3 - Localização dos sítios de monitoramento nas minas Serra da Onça (A) e Santa Maria (B).	22
Figura 4. Varredura com GPR em área sujeita a alagamento sazonal.	23
Figura 5. No sentido horário iniciando no polígono do canto superior esquerdo: 14 de Abril, Novo Mundo, Poço B e Cacimba, nos anos de 1984, 1988, 2000 e 2010. Fonte: Google Earth.	29
Figura 6 - Da esquerda para direita: Serra da Onça, Santa Maria e Duduca, nos anos de 1984, 1988, 2000 e 2010 (de cima para baixo). Fonte: Google Earth.	30
Figura 7- Distribuição das áreas com problemas de alagamento na mina 14 de Abril.	32
Figura 8 - Local de varredura com GPR na mina Potosí.	33
Figura 9 - Sítio 14 de Abril, setor com alagamento sazonal, sem nenhum tipo de regeneração.	33
Figura 10 - Cobertura do talhão A9 em 2011 (a esquerda) e em 2019, após o aprofundamento do canal de drenagem	34
Figura 11 - Dinâmica da superfície inundável na mina 14 de Abril. A= junho-2019; B= julho de 2019; C= agosto de 2019; D= outubro de 2019; E- maio de 2020 e F= junho de 2020.	35
Figura 12 - Área marginal ao lago na mina 14 de Abril	36
Figura 13 - Detalhe da área marginal de lago na mina 14 de Abril.	36
Figura 14 - Imagem da mina Poço B, com os lagos de influência	37
Figura 15 - Distribuição das áreas com problemas de alagamento na mina Poço B.	38
Figura 16 - Dinâmica da superfície inundável na mina Poço B. A= junho-2019; B= agosto de 2019; C= outubro de 2019; D= janeiro de 2020; E- maio de 2020 e F= junho de 2020.	39
Figura 17 - Margem do lago sul da mina Poço B, em 2017.	40
Figura 18 - Margem do lago sul da mina Poço B, em 2017 (acima) e 2019 (abaixo), evidenciando as margens expostas nos períodos secos	40
Figura 19 - Áreas da mina Serra da Onça.	41
Figura 20 - Distribuição das áreas com problemas de alagamento na mina Serra da Onça	42
Figura 21 - Sítio Serra da Onça, setor alagado com dominância da espécie <i>Genipa americana</i> .	42
Figura 22 - Dinâmica da superfície inundável na mina Serra da Onça. A= junho-2019; B= julho de 2019; C= agosto de 2019; D= janeiro de 2020; E- maio de 2020 e F= junho de 2020.	43
Figura 23 - Área com alagamento sazonal no período chuvoso na área A12 (condição em 2015).	44
Figura 24 - Mesma área no período seco na área A12 (condição em 2017).	44
Figura 25 - Talhões da mina Santa Maria	45
Figura 26 - Distribuição das áreas com problemas de alagamento na mina Santa Maria	46
Figura 27 - Talhão da mina Santa Maria com plantio de mudas de três anos	46
Figura 28 - Dinâmica da superfície inundável na mina Santa Maria. A= junho-2019; B= agosto de 2019; C= outubro de 2019; D= janeiro de 2020; E- abril de 2020 e F= junho de 2020.	47
Figura 29 - Talhões da mina Potosí	48

Figura 30 - Distribuição das áreas com problemas de alagamento na mina Potosí.....	49
Figura 31 - Linhas de lagos/alagamento na mina Potosí.....	49
Figura 32 - Dinâmica da superfície inundável na mina Potosí. A= junho-2019; B= agosto de 2019; C= dezembro de 2019; D= janeiro de 2020; E- abril de 2020 e F= junho de 2020.....	51
Figura 33 - Temperatura do solo nas profundidades de 10 cm (linha azul) e 30 cm (linha laranja) do sítio de Santa Maria.....	52
Figura 34 - Temperatura do solo nas profundidades de 10 cm (linha azul) e 30 cm (linha laranja) do sítio da Serra da Onça.....	53
Figura 35 - Média da umidade do solo em diferentes profundidades nos sítios Santa Maria e Serra da Onça	53
Figura 36 - Umidade volumétrica no sítio Santa Maria	55
Figura 37 - Umidade volumétrica no sítio Serra da Onça	56
Figura 38 - Local da varredura com GPR na Serra da Onça. A linha verde representa o alcance do sinal e o contraste reflete a presença do alto teor de umidade no solo.	57
Figura 39 - Local da varredura com GPR na Santa Maria	58
Figura 40 - Local de varredura com GPR na mina Potosí.....	59
Figura 41. Radargrama das linhas de varredura 114 e 116 da mina 14 de Abril.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros utilizados na aquisição dos dados	23
Tabela 2. Atributos químicos nas amostras de solo de áreas degradadas por mineração de cassiterita na Floresta nacional do Jamari, RO	26
Tabela 3. Síntese estatística dos resultados da análise química – metais disponíveis. Minas em recuperação, FLONA do Jamari – RO. Todos os valores estão em mg/dm ³	27
Tabela 4. Síntese estatística dos resultados da análise física dos solos das áreas de mineração em recuperação na FLONA do Jamari – RO.....	28
Tabela 5 - Distribuição das classes de alagamento e suas respectivas áreas	32
Tabela 6 - Distribuição das classes de alagamento na mina Poço B.	38
Tabela 7 - Distribuição das classes de alagamento.....	42
Tabela 8 - Distribuição das classes de alagamento.....	46
Tabela 9 - Distribuição das classes de alagamento e demais coberturas	49
Tabela 10 - Estatística descritiva dos dados de temperatura do solo.....	52
Tabela 11. Valores de constante dielétrica (K) e umidade volumétrica estimada	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO	14
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1. Recuperação de Áreas Degradadas em Áreas de Mineração	14
3.2. Sensoriamento Remoto.....	15
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1. Área de Estudo.....	17
4.2. Mapeamento das Áreas Sujeitas a Alagamento Sazonal.....	19
4.3. Coleta e Análise das Amostras de Solos.....	20
4.4. Uso de Sensores Proximais.....	21
4.4.1. Sensores de Umidade e Temperatura do Solo.....	21
4.4.2. Varredura com sensor de penetração do solo (<i>ground penetrating radar</i> – GPR)	22
4.4.3. Processamento dos radargramas	23
4.4.4. Estimativa dos valores de umidade volumétrica a partir dos radargramas ..	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5.1. Caracterização dos solos	25
5.2. Hidrodinâmica das Áreas de Mineração / Áreas sujeitas ao Alagamento Sazonal	29
5.2.1. Mina 14 de Abril.....	31
5.2.2. Mina Poço B	37
5.2.3. Mina Serra da Onça	41
5.2.4. Mina Santa Maria.....	45
5.2.5. Mina Potosí.....	48
5.3. Temperatura do Solo.....	52
5.4. Umidade do solo.....	53
5.4.1 Sítio Santa Maria	54
5.4.2 Sítio Serra da Onça.....	55
5.5. Radar de Penetração no Solo.....	56
5.5.1 Umidade estimada pelos radargramas	60
6. CONCLUSÕES.....	62
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1. INTRODUÇÃO

A mineração altera o ambiente de forma considerável, transformando intensamente a área explorada, assim como ao seu entorno, no qual são depositados material estéril e de rejeito. Sendo o estéril material descartado diretamente na operação de lavra, sem ser processado na operação de beneficiamento. Já o material de rejeito, corresponde à porção relacionada ao minério descartado ao longo do processo de beneficiamento. Além do mais, caso ocorra a presença de substâncias químicas nocivas na fase de beneficiamento do minério, isto pode significar um problema do ponto de vista ambiental (KAGEIAMA et al., 2003).

A movimentação do solo, associada à extração de recursos minerais, pode levar a mudanças ambientais sérias, principalmente nos solos e recursos hídricos (PADMANABAN et al., 2017). Cita-se os impactos diretos nos parâmetros físicos da corrente fluvial, como: geometria do canal, elevação do leito, composição e estabilidade do substrato, velocidade, turgidez, transporte de sedimentos, vazão e temperatura, são os mais comuns gerados pela atividade mineradora (OLIVEIRA & MELO, 2007).

Segundo a EMBRAPA (2009), área degradada é aquela que sofreu, em algum grau, perturbações em sua integridade, sejam elas de natureza física, química ou biológica. Recuperação, por sua vez, é a reversão de uma condição degradada para uma condição não degradada (MAJOER, 1989), independentemente de seu estado original e de sua destinação futura (RODRIGUES & GANDOLFI, 2001).

A recuperação de um ambiente degradado consiste na restituição de um ecossistema a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original (REICH & FRANCELINO, 2012). Segundo Francelino et al. (2012), a recuperação das áreas mineradas passa pela recomposição da paisagem, tratamento do solo para suportar a revegetação e envolve também o ajuste e o monitoramento das águas superficiais e as áreas sujeitas a alagamento sazonal ou permanente. Desta forma, as distintas características ambientais que cada área possui, exigirão técnicas específicas e apropriadas, de acordo com o cenário encontrado.

Um dos vários problemas ambientais gerado pela mineração é o abandono da área minerada, que ocorre por exaustão da jazida, principalmente por questões de viabilidade econômica (TAVEIRA, 2003). Historicamente no Brasil, as minas exauridas eram abandonadas sem que fossem tomadas providências para reduzir os riscos e impactos socioambientais os quais essas áreas estavam sujeitas a gerarem. A partir da década de 1980, através da Constituição Federal, foram criados instrumentos jurídicos direcionados às áreas mineradas, como o artigo 225, § 2º, da Constituição Federal, onde prever que as empresas de mineração são responsáveis pelo encerramento da mina e pela reabilitação das áreas mineradas. Erigido também pelo art. 19, da Lei nº 7.805/1989, com o mesmo enfoque da Lei nº 6.938/1981, isto é, a responsabilidade civil objetiva ou sem culpa.

Para que um projeto de recuperação em área degradada seja eficiente e tenha êxito é necessário que certas funções ambientais sejam cumpridas os mais similares possível ao de ambientes não perturbados e que supra as necessidades químicas e biológicas das espécies ali presentes. Isto demonstra a necessidade de melhor compreender as complexas interações do ecossistema e como ocorrem as modificações e a estruturação dos novos ambientes florestais no decorrer do tempo (KAGEYAMA, et. al, 2003; ESPINDOLA, 2005; BRANCALION, 2015).

Para atividades de mineração a céu aberto, um dos principais problemas gerado pela alteração topográfica está relacionado à abertura das cavas de extração e a necessidade de dar um novo uso para essas áreas, que podem ser aterradas ou formar um novo corpo hídrico quando é preenchida por água pluvial, fluvial ou do lençol freático (BUSTAMANTE et al., 2019). Outra situação é quando o substrato apresenta problemas de drenagens, principalmente quando

estão localizados nos entornos desses “novos lagos” e o lençol freático encontra-se próximo da superfície.

A dinâmica desses ambientes alagados, podem apresentar variações multitemporais significativas de acordo com as estações do ano e mesmo entre os anos, com níveis de precipitações distintos, o que ocasiona mudanças expressivas na dinâmica da paisagem local. Medidas *in situ* e remotas são aplicadas em estudos desta natureza. A primeira geralmente envolve medidas de longo prazo e representam custos mais elevados. Já as medidas remotas envolvem o uso de imagens orbitais e, além de abrangerem uma maior extensão da área de estudo, possuem custos menores, principalmente se fazer uso de sistemas que distribuem gratuitamente suas imagens. A aplicação de ferramentas de sensoriamento remoto permite a geração de índices espectrais específicos, os quais podem auxiliar no estudo de áreas sujeitas a alagamentos sazonais, como o *Normalized Difference Water Index* (NDWI) e o *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI) (MCFEETERS, 1996). Já os sistemas *in situ* são realizados através do uso de sensores proximais, os quais geram dados de forma direta ou indireta. Sensores proximais são aqueles utilizados no campo e que estão em contato, dentro ou muito próximo do solo, tendo como exemplos o radar de penetração do solo e sensores de umidade e temperatura do solo (Siqueira et al., 2021).

2. OBJETIVO

Esse estudo teve como hipótese, que técnicas de sensoriamento remoto e proximais associadas permitem quantificar de forma eficiente e precisa a dinâmica hídrica do solo relacionadas a recuperação florestal dessas áreas degradadas pela atividade minerária.

Assim como os seguintes objetivos: i) quantificar e mapear áreas afetadas por inundações sazonais localizadas em minas de cassiterita desativadas em ambiente amazônico; ii) aplicar técnicas de sensoriamento remoto e proximal para medições de umidade e temperatura do solo; iii) avaliar se as atividades de mineração alteraram a dinâmica da água do solo e; iv) se a área apresenta restrições químicas e físicas ao desenvolvimento das plantas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Recuperação de Áreas Degradadas em Áreas de Mineração

A mineração é uma das atividades humanas que mais contribui para alteração da superfície terrestre, porém de forma mais intensa no local da mineração e ao seu redor, provocando impactos sobre a fauna, a flora, água, o ar, o solo, o subsolo e a paisagem como um todo, os quais são sentidos pela população da região diretamente afetada (GRIFFITH, 1980). De acordo com Valcarcel & D'Altério (1998), a remoção do solo em empreendimentos minerários, deixam o substrato litólico exposto, o que gera intensas modificações no equilíbrio dos ecossistemas e hidrológico local.

A atividade minerária pode também impactar de maneira intensa a qualidade e a quantidade das águas superficiais e subsuperficiais. No caso de processo de mineração a céu aberto, como são os casos das minas de cassiterita existentes na Floresta Nacional (FLONA) do Jamari, localizada no estado de Rondônia, geralmente envolve o desvio das águas superficiais das áreas que serão mineradas, para evitar a ocorrência de erosão, assoreamento e contaminações física e química (IBAMA, 1990).

Pelas alterações impostas às características físicas, químicas e biológicas do solo, o processo de revegetação é dificultado, sobretudo, em decorrência de um ou mais problemas tais como: níveis tóxicos de metais, altas concentrações de sais solúveis, valores extremos de pH, deficiências nutricionais, baixa taxa de infiltração de água, alta temperatura na superfície, baixa capacidade de troca de cátions dos solos, atividade biológica restrita e baixa retenção de água (Williams et al., 1990; Silva, 1993; Fox, 1994).

A vegetação é outro componente da paisagem fortemente impactado pelo processo de lavra. Além da sua remoção para a extração do minério, são alteradas as fontes de propágulos, os agentes de dispersão, as condições microclimáticas e o substrato para o estabelecimento dos ingressos vegetativos. Segundo Corrêa & Melo (1998), a degradação ou perturbação ambiental, está relacionada a retirada da cobertura vegetal, variando a intensidade. A degradação ou perturbação da área, são fatores característicos essenciais à sucessão e quando um ou mais desses estão ausentes ou sem condições de reagir prontamente, o processo de recuperação como um todo pode ser mais lento. Neste caso, os mecanismos biológicos e, ou, fatores abióticos estão comprometidos, não permitindo que a dinâmica da sucessão natural se estabeleça. De acordo com Kageyama et al. (1989), uma área pode ter exaustão progressiva do banco de sementes, tornando a área restrita para se regenerar naturalmente nas primeiras fases da sucessão. Além disso, normalmente esses locais apresentam-se bastante aberto e ensolarado, propiciando a entrada de gramíneas, que impedem a regeneração natural da floresta (NOGUEIRA & NOGUEIRA, 1991).

A restauração das adequadas condições ecológicas, que deve ser o objetivo principal de qualquer iniciativa de recuperação, só ocorrerá se contar com um grande contingente de espécies regionais, espécies essas de diferentes comportamentos, participando desse processo de recuperação. Sem isso, a área recuperada pode permanecer ocupada por vegetação florestal por um determinado tempo, mas retornar à condição de degradada, já que essas espécies florestais vão chegar à fase de senescência (morte) e a área não vai apresentar espécies mais longevas, sob a copa daquelas de rápido crescimento, que as substituiriam nesse momento. Como a área não apresenta tais espécies, que iriam substituir aquelas iniciais senescentes, quem vai substituí-las são as próprias competidoras que ocupavam a área no momento do pré-plantio, que são, mais comumente, gramíneas agressivas (colonião, braquiária e outras). (Rodrigues, 2005).

De maneira geral, os impactos topográficos, edáficos, vegetativos e hídricos provocados pela mineração de superfície manifestam-se de forma intensa. A mineração desfigura a topografia, elimina a vegetação, os solos e os cursos de água, mudados em sua coloração e textura (GRIFFITH, 1980). No contexto da mineração, a recuperação de uma dada área degradada deve ter como objetivos recuperar sua integridade física, química e biológica (estrutura), e, ao mesmo tempo, recuperar sua capacidade produtiva (função), seja na produção de alimentos e matérias-primas ou na prestação de serviços ambientais.

3.2. Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto, através de processamento de imagens de satélites, pode ser uma interessante ferramenta quando se busca obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície terrestre, sem contato físico com eles. A utilização de dados espectrais na estimativa de parâmetros estruturais da vegetação e paisagem constitui-se num dos mais importantes potenciais do sensoriamento remoto dos ecossistemas naturais (ACCIOLY et al., 2011).

Através do processamento e análise de imagens de satélites e com o auxílio de Sistema de Informação Geográfica (SIG), pode-se diferenciar áreas alagadas, regiões não-inundáveis e áreas úmidas com mais detalhes. Através desse processo pode-se identificar características específicas desses ambientes e, através do monitoramento temporal, pode-se construir soluções para controlar as modificações que ocorrem, tanto a nível hidrológico, como biológico e físico.

A evolução dos métodos e análises de dados de sensoriamento remoto para estudos hídricos torna-se cada vez mais rápida devido à disponibilidade de extensos conjuntos de dados e algoritmos livres (JONES et al., 2009). Assim, uma grande variedade de imagens está disponível para o mapeamento de zonas úmidas tanto por sensores do tipo radar como óptico, com diferentes resoluções espaciais, espectrais e temporais, e também são utilizadas para o mapeamento e previsão de diferentes processos, tais como: inundação e dinâmica fluvial (KLEMAS, 2014; RAHMAN & DI). Uma forma de aproveitar o potencial de uso destas imagens é através da geração de índices espectrais, tais como o *Normalized Difference Water Index* – NDWI, os quais buscam correlacionar o conteúdo foliar com a água na cobertura vegetal, permitindo acompanhar mudanças na biomassa e avaliar o estresse hídrico na vegetação. Conforme afirma Jardim-Lima et al. (2005), é possível que através do uso do NDWI quantificar a área de inundação e a morfologia dos lagos.

3.3. Ground Penetrating Radar – GPR

Dentre as tecnologias utilizadas para a detecção de umidade e feições do solo, destaca-se a utilização do Radar de Penetração do Solo (Ground Penetrating Radar - GPR). Trata-se de um método geofísico elétrico não invasivo ao meio natural, muito eficiente e utilizado em estudos de investigação de regiões rasas do terreno com o uso de antenas de altas frequências,

que variam de 10 MHz a 1 GHz (ANNAN, 2009). O GPR é um tipo de sensor proximal e vem sendo utilizado em diversas situações para identificar a profundidade do solo, variação textural, presença de camadas adensadas, além do nível d'água com excelentes resultados principalmente, em terrenos arenosos (ANNAN, ET AL., 1991; BERES & HAENI, 1991; HARARI, 1996).

Quando há excesso de água no solo, a taxa de difusão de oxigênio no solo é bastante reduzida. Sob um solo saturado, o movimento do oxigênio pode ser mais de mil vezes menor do que num solo bem aerado. Essa falta de oxigênio pode limitar severamente a respiração das células das raízes, e, além disso, favorece a formação de ambientes quimicamente redutores, ou seja, ambientes ácidos e inóspitos para o desenvolvimento radicular (GLIESSMAN, 2001). Os resultados gerados pelo GPR são representados em uma imagem denominada radargrama. A nitidez da imagem depende da frequência da antena utilizada e dos diversos constituintes e fases do solo, cada um com propriedades físicas distintas, como a constante dielétrica (K), que representa a resistência de um material em conduzir corrente elétrica. Geralmente, quando estes constituintes apresentam valores da constante K muito distintos entre si, obtém-se o melhor imageamento das feições do solo no radargrama (DE BENEDETTO et al., 2010).

As reflexões da energia eletromagnética ocorrem nas interfaces entre materiais ou camadas que apresentem distintas constantes dielétricas, o que interfere nos valores de propagação da velocidade da energia eletromagnética no meio, o que gera faixas de reflexões distintas registradas no radargrama. A amplitude do sinal refletido será tanto maior quanto maior for o contraste existente entre as velocidades (ou constantes dielétricas) dos correspondentes materiais. Em caso de mudança textural abrupta no solo, o contraste é claramente registrado no radargrama (FRANCELINO et al., 2021; SIQUEIRA et al., 2021). O uso do GPR também pode contribuir para a obtenção de informações sobre a profundidade do embasamento, existência de aquíferos, caminhos preferenciais de propagação subterrânea e outras feições geológicas de interesse (CETESB, 1999).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

O trabalho foi desenvolvido nas áreas das antigas minas de cassiterita que se encontram em processo de recuperação, localizadas nos domínios da unidade de conservação Floresta Nacional do Jamari – FLONA Jamari, no município de Itapuã do Oeste, no estado de Rondônia (**Figura 1**).

A região possui clima tropical úmido e quente, durante todo o ano, apresentando insignificante amplitude térmica anual. De acordo com o plano de manejo, IBAMA (2005) e segundo a classificação de Koppen, a área possui um clima do tipo Aw-Clima Tropical Chuvoso, com período seco bem definido durante a estação de inverno, quando ocorre na região um moderado déficit hídrico. A média anual de precipitação pluvial de 2.400 mm/ano, onde mais de 90% desta ocorre na estação chuvosa. A média anual da temperatura do ar fica entre 24° e 26 °C e o período mais seco ocorre entre junho e agosto, sendo maio e setembro, meses de transição.

De acordo com o IBAMA (2005), os solos dessa região apresentam uma grande diversidade pedológica, com predominância dos Latossolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Neossolos, Litólicos e Cambissolos Háplicos, que são solos que ocorrem, em sua maioria, em terras firmes e relevo suave ondulado, todos distróficos. Entretanto, a classe que se impõe a todas as demais é a do Latossolo. Quanto aos aspectos de hidrografia e hidrologia, os ambientes aquáticos encontrados na Floresta Nacional do Jamari, originalmente, são lóticos, formados pelas bacias dos rios Jacundá, Jamari e Preto do Crespo. Os ambientes lênticos, hoje encontrados, foram formados a partir da exploração mineral que ocorre na Unidade.

O estudo abrangeu ao total de cinco das oito minas abandonadas localizadas na FLONA do Jamari, sendo estas denominadas (14 de Abril, Santa Maria, Serra da Onça, Poço B e Potosí). Vale destacar que trata-se de área que estão desde 2009 em recuperação.

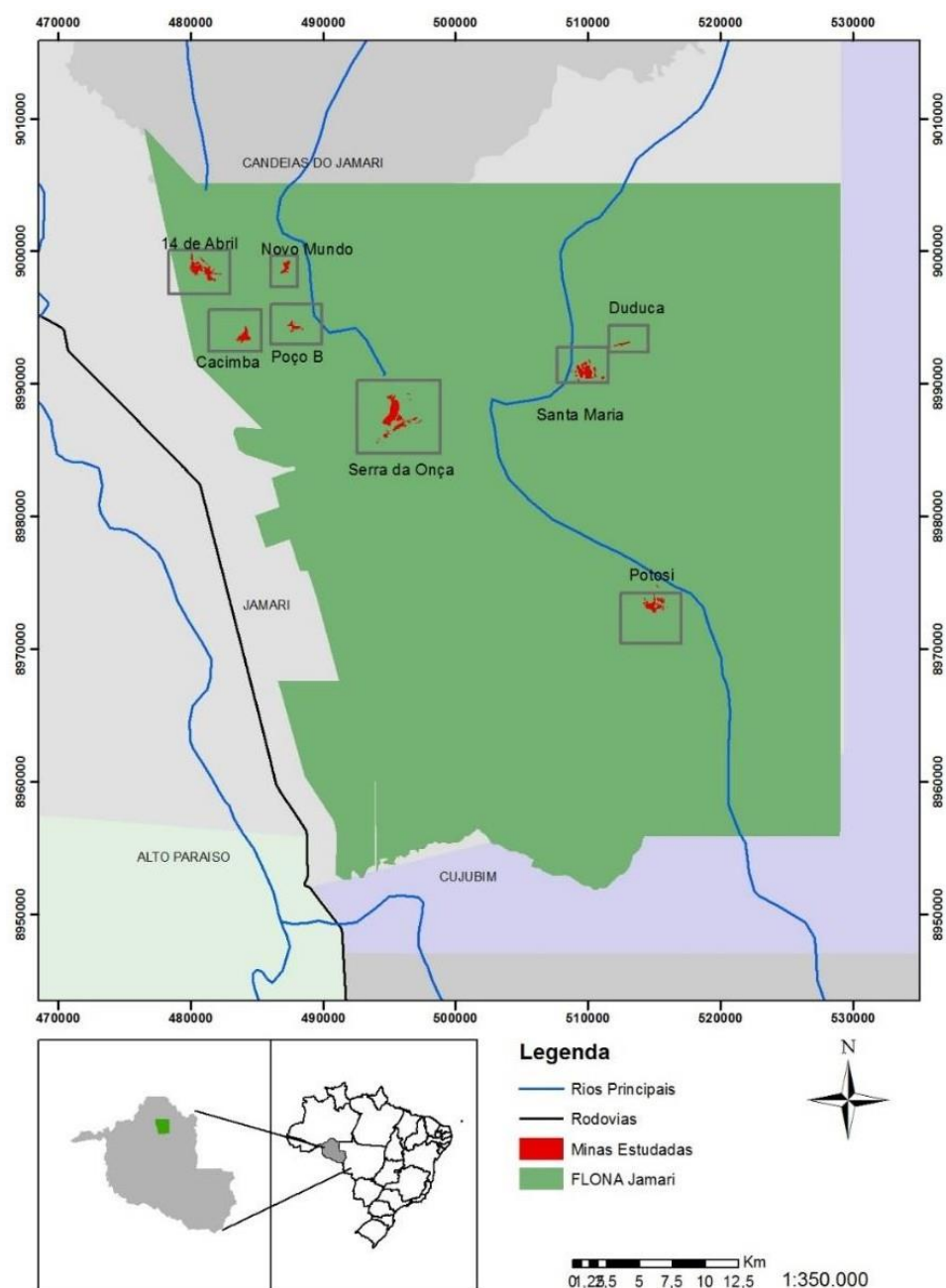


Figura 1 – Localização da FLONA Jamari, no estado de Rondônia / Minas em recuperação.

As principais ações de recuperação florestal, correspondem ao retrabalhamento da topografia, a adição de topsoil e o plantio de espécies arbóreas nativas. Entretanto, algumas áreas não atingiram o desenvolvimento esperado da cobertura vegetal, em função, principalmente por problemas de drenagem. Isso faz com que elas fiquem parte do tempo, ou mesmo permanentemente alagadas, como na área da (**Figura 2**). Essa condição dificulta ou até mesmo impede o desenvolvimento da vegetação, mesmo quando se utilizam espécies adaptadas para essa situação.



Figura 2 – Exemplo de área afetada por alagamento sazonal na mina Santa Maria. A área demarcada em preto corresponde a parte onde foram realizadas intervenções, como plantio de espécies florestais e drenagem.

4.2. Mapeamento das Áreas Sujeitas a Alagamento Sazonal

Para avaliar a dinâmica hídrica da área em função das alterações oriundas das atividades da mineração ao longo do período de 1984 até 2010 (quando encerrou a exploração minerária), foram utilizadas imagens do histórico do Google Earth. Foram também utilizadas imagens do satélite Sentinel-2, com resolução espacial de 20m (ESA, 2015), com uso das bandas do visível (VIS), do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR). As imagens orbitais foram obtidas gratuitamente no repositório da ESA (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>), sendo escolhidas as imagens de agosto de 2017 e abril de 2021, todas com correção atmosférica.

Com uso das bandas do Sentinel-2 foi gerado o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI). Esse índice foi projetado com a finalidade de determinar o limiar entre água, vegetação e solo (BRENNER e GUASSELLI, 2015). De maneira geral ele é utilizado para monitorar alterações relacionadas ao volume de água em massas d'água. Os corpos d'água, possuem a característica de absorção da luz no espectro eletromagnético do visível ao infravermelho, desta forma, o NDWI usa faixas infravermelho próximo e do verde para destacar os corpos d'água. Esse índice permite ressaltar acumulações hídricas e minimizar o restante dos alvos da superfície, (RODRIGUES et al., 2017).

Segundo McFeeters (1996) e Gao (1996), o cálculo deste índice expressa-se a partir da equação (1):

$$NDWI = (BV_{v-NIR}) / (BV_{v+NIR}) \quad (1)$$

Onde, BVv é a banda do verde (banda 3); e NIR é a banda do infravermelho próximo (banda 8).

Valores de índice maiores que 0,5 geralmente correspondem a corpos d'água, enquanto para a vegetação os valores estão entre 0,5 e 0,2 e as áreas seca com valores abaixo de 0,2. A partir dos resultados obtidos com o NDWI foram estabelecidos três níveis de alagamento:

Nível 1: com valores entre 0,5 e 0,6 - nível mais ameno de alagamento, é uma das últimas a ficar com água acima da superfície. No período seco o solo deve permanecer com elevado teor de umidade, mas não encharcado. Permite o desenvolvimento de uma cobertura vegetal rasteira, muito esparsa. Apresenta elevado grau de restrição de drenagem e são as mais distantes dos corpos hídricos;

Nível 2: valores entre 0,6 e 0,8 - nível intermediária de alagamento, com lençol freático próximo da superfície. Apresenta raras plantas;

Nível 3. Acima de 0,8 - São as áreas completamente alagadas, com curtos períodos secas. Não apresentam condições de desenvolvimento de vegetação e estão mais próximas dos corpos hídricos. São as primeiras a ficarem alagadas, muitas vezes com elevada.

4.3. Coleta e Análise das Amostras de Solos

As coletas das amostras de solos foram realizadas por meio de abertura de duas trincheiras, cuja profundidade foi limitada pela presença do lençol freático, nos locais onde foram instalados os sítios de monitoramento. O perfil localizado na área da mina Serra da Onça foi até 75 cm, enquanto o localizado na mina Santa Maria alcançou somente 67 cm, sendo estes os níveis de profundidade máximo alcançado devido a elevação do lençol freático. Nos demais locais foram coletadas amostras em locais sujeitos a alagamentos sazonais por meio de tradagens, nas profundidades de 0-10 cm e 10-30 cm, totalizando 26 amostras (**Tabela 1**).

Realizou-se análises granulométrica pelo método da pipeta adaptado por Ruiz (2005). As demais análises seguiram o recomendado por Teixeira et al. (2017). Determinou-se o pH em água e em solução de KCl 1 mol L⁻¹ (relação 1:2,5). Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, foram extraídas com KCl 1,0 mol L⁻¹, sendo o Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica e o Al por titulação com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹. Extraíu-se Na, K e P disponíveis com Mehlich-1 (HCL 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), onde o Na e K foram determinados por fotometria de chama e o P por colorimétrica. O carbono orgânico (CO) foi determinado conforme Walkley & Black (1934). Quantificou-se o fósforo adsorvido (P) após agitação durante 1 h de terra fina seca ao ar (TFSA) com solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação 1:10 (Alvarez et al., 2000). Com base nos resultados obtidos, foi realizado os cálculos da soma de bases (SB), CTC a pH 7,0, a saturação por bases (V) e saturação por Al³⁺ (m).

Os metais S, B, Cu, Mn, Fe, Zn, Cr, Ni, Cd e Pb foram extraídos utilizando o extrator Mehlich-1 e as leituras realizadas no espectrofotômetro de emissão ótica de plasma acoplado por indução (ICP-OES) do laboratório do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

4.4. Uso de Sensores Proximais

4.4.1. Sensores de Umidade e Temperatura do Solo

Foram instalados dois sítios de monitoramento da temperatura do solo, um na área da mina de Serra da Onça e outro na mina Santa Maria (**Figura 3**). Cada sítio estruturado com sensores de umidade do solo modelo CS-616, da Campbell Scientific (4 no sítio de Santa Maria e 3 no sítio da Serra da Onça) e dois sensores de temperatura modelo 107E, também da Campbell Scientific. No sítio da Serra da Onça os sensores foram instalados até 60cm de profundidade e na Santa Maria até 75 cm. Os dados foram registrados no intervalo 60 minutos em um datalogger modelo CR1000 (Campbell Scientific). Todo o sistema foi alimentado por uma bateria estacionária de 70 amperes.

As medições de umidade e temperatura do solo foram coletadas e registradas a cada 60 minutos durante o período de 12 de junho de 2019 a 03 de junho de 2020. Todos os dados do datalogger com conexão de comunicação RS232 foram acessados pelo software LoggerNet disponibilizado pelo mesmo fabricante dos sensores.

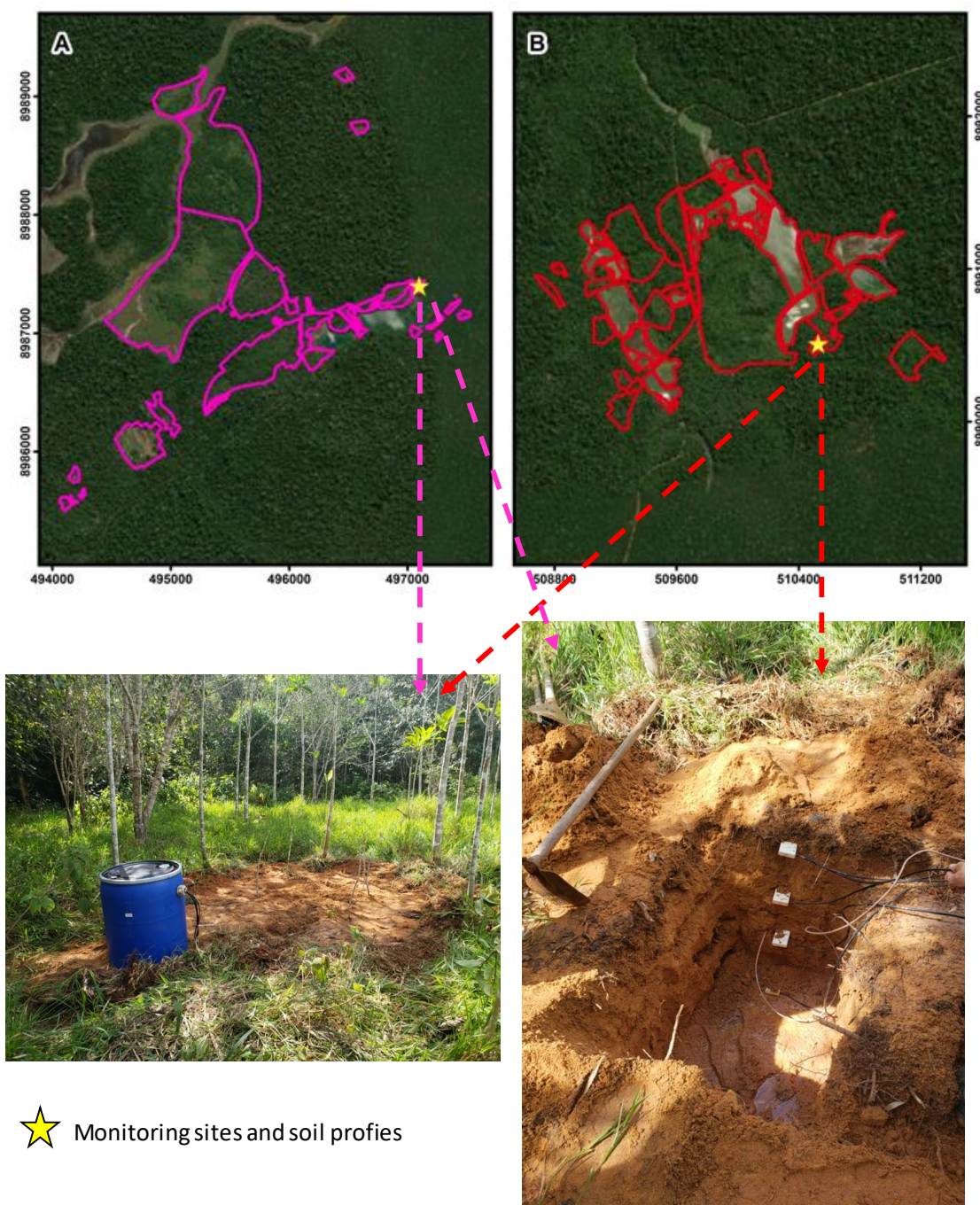


Figura 3 - Localização dos sítios de monitoramento nas minas Serra da Onça (A) e Santa Maria (B).

4.4.2. Varredura com sensor de penetração do solo (*ground penetrating radar* – GPR)

Para avaliar a extensão e profundidade do lençol freático das áreas sujeitas a alagamento sazonal, foram realizadas 28 varreduras em transectos distintos na área de estudo entre o final do período chuvoso e início do período seco no mês de junho de 2019. O equipamento utilizado foi o radar de penetração do solo da marca GSSI® modelo SIR-3000. Em cada área foram feitas varreduras com antena blindada de 400 MHz (**Figura 39**). O aparelho foi configurado para valor de constante dielétrica de 13, com velocidade de 83 mm ns^{-1} , conforme recomendado no manual de instruções (GSSI, 2012). Os parâmetros utilizados na aquisição de dados foram: 50.000 varreduras por metro linear, 512 traços e 16 bits por amostra. A técnica de aquisição

adotada foi a do afastamento constante (*common offset*), que consiste em passar o GPR em linha reta, utilizando odômetro para medir a distância percorrida.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados na aquisição dos dados.

Frequências (MHz)	Scans/metro	Scans/segundo	Amostras/scan	Bits/amostra
400	50.000	100.000	512	16



Figura 4. Varredura com GPR em área sujeita a alagamento sazonal.

4.4.3. Processamento dos radargramas

Os radargramas foram processados por meio do software RADAN 7®, sendo realizados os seguintes processamentos para melhoria do sinal eletromagnético nos radargramas, conforme sugerido por Geophysical Survey Systems, Inc. (GSSI, 2012):

1. Correção do tempo zero: remoção da faixa aérea entre a antena e a superfície;
2. Remoção do plano de fundo (*Background*): filtro aplicado para remover interferências de alta frequência. O ruído de fundo horizontal degrada a resolução dos dados GPR e está associado às interferências de ondas eletromagnéticas de alta frequência. Foi realizada a conversão de tempo em profundidade, utilizando modelos de velocidade média de propagação da onda através dos meios;
3. Filtro passa banda: filtro horizontal para remoção de ruídos e/ou reflexões múltiplas. O processamento de deconvolução elimina ruídos de baixa frequência melhorando a resolução dos dados GPR;
4. FIR (*Finite Impulse Response*): filtro vertical para redução de baixa e alta frequência. É um filtro digital linear caracterizado pela duração finita de seu sinal de entrada. O método retangular utilizado, *boxcar*, baseia-se em uma função de média simples determinada por meio da zona de corte de frequências desejada, chamada passa banda, e aplicada a janelas amostrais retangulares;

5. Ganhos: adição de sinal para amplificar a resolução da imagem, possibilitando a identificação de refletores de baixa intensidade.

4.4.4. Estimativa dos valores de umidade volumétrica a partir dos radargramas

Nos radargramas foram selecionadas hipérboles representativas visando estimar o valor da constante dielétrica (K) do ponto amostral por meio de leitura direta nos radargramas, no software RADAN 7®.

Na estimativa da umidade volumétrica dos solos (U), a partir dos dados do GPR, a constante dielétrica obtida por meio dos radargramas foi usada conforme na equação proposta por Condé (Francelino et al., 2021) para solos bem desenvolvidos como (Latosolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo Háplico). A equação de calibração considera a umidade função da constante dielétrica e da profundidade de coleta das amostras, e a interação entre esses fatores. O modelo obtido é descrito por:

$$\theta_v = 5,416 \times 10^{-2} + 1,121 \times 10^{-2}K + 2,113 \times 10^{-3}P - 1,115 \times 10^{-4}KP$$

Onde:

θ_v = umidade gravimétrica do solo;

K = constante dielétrica observada no radargrama;

P = profundidade de coleta da amostra de solo (cm).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização dos solos

Os resultados para os atributos químicos do solo (**Tabela 2**) foram comparados com os níveis de fertilidade adotados por Raij et al. (2001) nos parâmetros de avaliação da fertilidade do solo. Os valores de pH (KCL) variaram de 3,82 a 6,0; e os solos dos Santa Maria (áreas 05 e 10), apresentaram maior acidez. Desempenhos semelhantes foram observados para a saturação por bases (V), em que os solos do sítio Serra da Onça 12 e Santa Maria 10, apresentaram os menores valores, o que se deve aos baixos teores de Ca^{2+} e elevada acidez potencial.

Na região amazônica, a toxidez por Al^{3+} é frequente Smyth (1996). Em solos de floresta em Rondônia, observou-se maior acidez, quando comparados a solos sob pastagem nas mesmas condições (Longo, 1999). Provavelmente, os teores mais elevados de Ca^{2+} e Mg^{2+} nas áreas degradadas em processo de recuperação, são oriundos da atividade de calagem, que é prática comum entre as técnicas de recuperação do solo. Os setores de Santa Maria 5 e 14 de Abril área 11, apresentaram os maiores teores de matéria orgânica ($2,42 \text{ dag/kg}^{-1}$), e ($2,28 \text{ dag/kg}^{-1}$). Os

baixos teores de MO nas áreas degradadas, possuem relação direta com o processo de mineração, devido a remoção da cobertura vegetal. A CTC, que está diretamente relacionada ao teor de MO, também foi maior nos setores Santa Maria 5 ($1,46 \text{ cmol}^{\text{c}}/\text{dm}^{-3}$) e Santa Maria 10 ($1,14 \text{ cmol}^{\text{c}} / \text{dm}^{-3}$), porém mesmo assim, apresentam valores baixos de acordo com o método do manual de análises da Embrapa. Considerando a MO e a CTC como critérios de qualidade, concluiu-se que os solos degradados ainda não podem ser considerados como recuperados. Os teores de P extraído pelo método Extrator Mehlich-1 são considerados baixos e foram maiores nos setores Potosí área 01 ($2,7 \text{ mg dm}^{-3}$) e 14 de Abril área 11 ($2,4 \text{ mg dm}^{-3}$).

Segundo Longo et al. (2005), as diferenças na fertilidade entre solos das áreas degradadas sob recuperação se devem aos tipos de cobertura vegetal implantados, às características do solo/substrato em cada área e à calagem e adubação de cobertura aplicados anualmente no solo.

Tabela 2. Atributos químicos nas amostras de solo de áreas degradadas por mineração de cassiterita na Floresta nacional do Jamari, RO.

Sítio	Profundidade	P	MO	pH (KCL)	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺ Alumínio trocável	SB	t	V
14 de Abril Área 10	0 - 10	2,3	1,61	4,05	22	0,36	0,05	0,49	0,47	0,96	13,9
14 de Abril Área 10	10 - 30	0,8	0,81	4,22	0	0,38	0,02	0,19	0,4	0,59	17,4
14 de Abril Área 11	0 - 10	2,4	2,28	3,91	27	0,28	0,06	0,39	0,41	0,8	11,7
14 de Abril Área 11	10 - 30	1,5	0,27	3,99	8	0,25	0,02	0,39	0,29	0,68	20,9
Potosí Área 01	0 - 10	2,7	0,13	4,6	0	0,11	0,02	0	0,13	0,13	20,6
Potosí Área 01	10 - 30	2,3	0,13	4,73	0	0,2	0,02	0	0,22	0,22	52,4
Potosí Área 03	0 - 10	0,4	0,94	4,98	10	0,22	0,04	0	0,29	0,29	22,5
Potosí Área 03	10 - 30	1,7	0,13	5,25	0	0,18	0	0	0,18	0,18	100
Potosí Área 09	0 - 10	0,1	0,27	5,6	0	0,25	0,03	0	0,28	0,28	48,3
Potosí Área 09	10 - 30	0,1	0,13	6	0	0,2	0,01	0	0,21	0,21	51,2
Santa Maria 10	0 - 10	1,2	2,15	3,82	22	0,25	0,05	0,78	0,36	1,14	7
Santa Maria 10	10 - 30	0,5	0,67	4,02	2	0,16	0,01	0,1	0,18	0,28	14,1
Santa Maria 15	0 - 10	0,5	0,54	4,35	0	0,35	0,03	0,19	0,38	0,57	19,2
Santa Maria 15	10 - 30	0,3	0,27	4,44	0	0,18	0,01	0	0,19	0,19	16
Santa Maria 5	0 - 10	0,9	2,42	3,92	16	0,55	0,09	0,78	0,68	1,46	14,8
Santa Maria 5	10 - 30	0,3	1,07	3,97	0	0,51	0,05	0,58	0,56	1,14	17,7
Serra da Onça Área 12	0 - 10	0,6	1,21	4,24	8	0,11	0,02	0,29	0,15	0,44	6,7
Serra da Onça Área 12	10 - 30	0,5	0,54	4,3	6	0,2	0,02	0,19	0,24	0,43	14,6
Sítio Santa Maria (Sensor Umidade) 10 cm	0 - 10	1,9	0,13	3,95	0	0,19	0,02	0,29	0,21	0,5	13
Sítio Santa Maria (Sensor Umidade) 30 cm	10 - 30	0,3	0,13	4,31	0	0,2	0,01	0	0,21	0,21	25,9
Sítio Serra da Onça (Sensor Umidade) Área 12 10 cm	0 - 10	0,3	0,67	4,23	8	0,24	0,05	0,19	0,31	0,5	14
Sítio Serra da Onça (Sensor Umidade) Área 12 30 cm	10 - 30	0,2	0,27	4,44	0	0,22	0,03	0	0,25	0,25	20

P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺: extraídos pelo método Extrator Mehlich-1; MO: matéria orgânica, por oxidação com solução de dicromato de potássio, método colorimétrico; H+Al: acidez potencial pelo método tampão SMP; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases. Médias, na mesma coluna, seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

Os maiores valores Pb, foram encontrados nos setores Potosí área 01 e 03 variando de 59,51 a 127,4 mg kg⁻¹ (**Tabela 3.** Síntese estatística dos **resultados da análise** química – metais disponíveis. Minas em recuperação, FLONA do Jamari – RO. Todos os valores estão em mg/dm³.) A maioria dos valores encontrados está acima do Valor de Referência de Qualidade - VRQ, o qual é de 17 mg kg⁻¹ (CETESB, 2014). No entanto, nestes setores, na profundidade de 0-0,20 m, os valores de Pb se situaram acima do valor de prevenção (72 mg kg⁻¹) o que indica a possibilidade de ocorrência de efeitos prejudiciais à qualidade do solo e das águas.

Nascimento et al, (2018) determinaram teores naturais de metais potencialmente tóxicos em solos sedimentares aluviais do sudoeste da floresta amazônica brasileira. Os autores sugerem que os sedimentos transportados pelo rio Madeira e depositados durante seu curso em bacias sedimentares, são os principais responsáveis pelos teores naturais de metais encontrados.

Em todas as áreas amostradas o teor médio de Cd é inferior ao VRQ. De maneira geral, os solos apresentaram baixa fertilidade natural, com raras exceções. A acidez é mediana e os teores de P e bases muito baixos. A saturação por bases apresentou valor médio de 23,6%, com eutrofismo somente em amostras superficiais da mina Potosí. Vale enfatizar que a maioria desses substratos foram retrabalhados, transportados de outras áreas para recompor as

alterações das paisagens impactadas pela mineração. Outro fator importante é que foram utilizadas diferentes técnicas de correções da topografia e terraceamento, os quais provavelmente influenciaram as diferenciações químicas e físicas desses solos. Mesmo tratando-se de solos intemperizados, não apresentaram valores de alumínio, ou saturação por esse elemento, a níveis preocupantes.

Tabela 3. Síntese estatística dos resultados da análise química – metais disponíveis. Minas em recuperação, FLONA do Jamari – RO. Todos os valores estão em mg/dm³.

	S		B	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cd	Pb
Média	15,83		0,07	3,94	46,56	254,24	1,54	0,51	0,51	0,17	15,88
Máx	32,1		0,35	21,06	370,1	1225,8	8,33	3,48	2,73	0,56	127,4
Mín	4,1		0	0,26	0,4	42,3	0,09	0,22	0	0	0
DV	10,28		0,09	6,16	93,38	259,95	2,27	0,62	0,61	0,19	33,95

Em relação às análises físicas, os solos onde foram instalados os sítios de monitoramento apresentaram texturas bem distintas (**Tabela 4**). O sítio da mina Serra da Onça apresentou textura muito argilosa em todas as profundidades. Já o solo do sítio da mina Santa Maria apresentou textura média a arenosa, com incremento de argila em profundidade, mas não o suficiente para enquadrá-lo como Argissolo. O teor médio de argila foi de 33% enquanto o de areia (grossa + fina) foi acima de 56%.

Segundo Donagemma e Viana (2017), a avaliação da argila dispersa em água (ADA) é utilizada em estudos direcionados à erosão e como indicador de qualidade de solo. Esse parâmetro varia com alguns fatores como a mineralogia da fração argila, a textura do solo e o uso e manejo do solo. A ADA, portanto, é um retrato do grau de desagregação promovida pelo manejo inadequado do solo, como calagens em excesso na superfície, entre outros. Os resultados encontrados de ADA e GF, mostram que esses solos não apresentam problemas com dispersão de argila em água, com raras exceções.

Tabela 4. Síntese estatística dos resultados da análise física dos solos das áreas de mineração em recuperação na FLONA do Jamari – RO.

Amostra	Prof.	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classificação	ADA	GF
	cm						g/kg	%
SM5-Rejeito	0-10	0,004	0,004	0,19	0,802	Muito Argilosa	0,343	57,23
SM5-Rejeito	10-30	0,011	0,176	0,13	0,683	Muito Argilosa	0,009	98,68
SM10	0-10	0,395	0,246	0,054	0,304	Franco-Argilo-Arenosa	0,063	79,28
SM10	10-30	0,549	0,274	0,011	0,166	Franco-Arenosa	0,011	93,37
SM15	0-10	0,431	0,201	0,072	0,296	Franco-Argilo-Arenosa	0,014	95,27
SM15	10-30	0,545	0,163	0,056	0,236	Franco-Argilo-Arenosa	0,012	94,92
SM Sensor	0-10	0,641	0,23	0,014	0,115	Areia Franca	0,014	87,83
SM Sensor	10-30	0,509	0,33	0,019	0,142	Franco-Arenosa	0,005	96,48
SM Sensor	30-50	0,445	0,288	0,006	0,261	Franco-Argilo-Arenosa	0,012	95,4
SM Sensor	50-75	0,408	0,351	0,006	0,235	Franco-Argilo-Arenosa	0,011	95,32
Potosi3	0-10	0,761	0,136	0,041	0,063	Areia	0,014	77,78
Potosi3	10-30	0,743	0,194	0,034	0,03	Areia	0,007	76,67
Potosi9	0-10	0,652	0,217	0,011	0,12	Areia Franca	0,008	93,33
Potosi9	10-30	0,589	0,317	0,008	0,086	Areia	0,008	90,7
Potosi1	0-10	0,631	0,292	0,03	0,047	Areia	0,007	85,11
Potosi1	10-30	0,489	0,415	0,069	0,028	Areia	0,005	82,14
SO12	0-10	0,221	0,125	0,06	0,594	Argila	0,016	97,31
SO 12	10-30	0,182	0,112	0,076	0,63	Muito Argilosa	0,01	98,41
SO Sensor	0-10	0,181	0,143	0,059	0,617	Muito Argilosa	0,011	67,16
SO Sensor	10-30	0,145	0,103	0,128	0,624	Muito Argilosa	0,007	50
SO Sensor	30-50	0,178	0,091	0,1	0,631	Muito Argilosa	0,009	71,38
SO Sensor	50-60	0,204	0,097	0,299	0,4	Franco-Argilosa	0,014	99,83
14 de Abril 11	0-10	0,042	0,383	0,306	0,268	Franca	0,088	98,22
14 de Abril 11	10-30	0,009	0,424	0,447	0,12	Franca	0,06	98,88
14 de Abril 10	0-10	0,105	0,139	0,162	0,594	Argila	0,17	98,57
14 de Abril 10	10-30	0,081	0,164	0,165	0,59	Argila	0,001	96,5

SM= Mina Santa Maria; SO= Mina Serra da Onça ADA= argila dispersa em água; GF= grau de floculação;

5.2. Hidrodinâmica das Áreas de Mineração / Áreas sujeitas ao Alagamento Sazonal

Ao longo do período de exploração minerária, sistemas antes lóticos foram transformados em lênticos, alterando a hidrodinâmica das microbacias das áreas de exploração mineral. É possível observar na **(Figura 5)** que desde 1984 já existiam áreas de alagamentos nesse setor, principalmente às localizadas ao sul da mina Mundo Novo e a que ocorre entre as minas Poço B e Cacimba. Em 1988 observa-se que o canal de um igarapé é represado próximo da mina 14 de Abril e no ano de 2000 já alarga o leito do mesmo. Vale salientar a rápida evolução da área desta mina e que em 2010 já se encontrava em processo de recuperação.

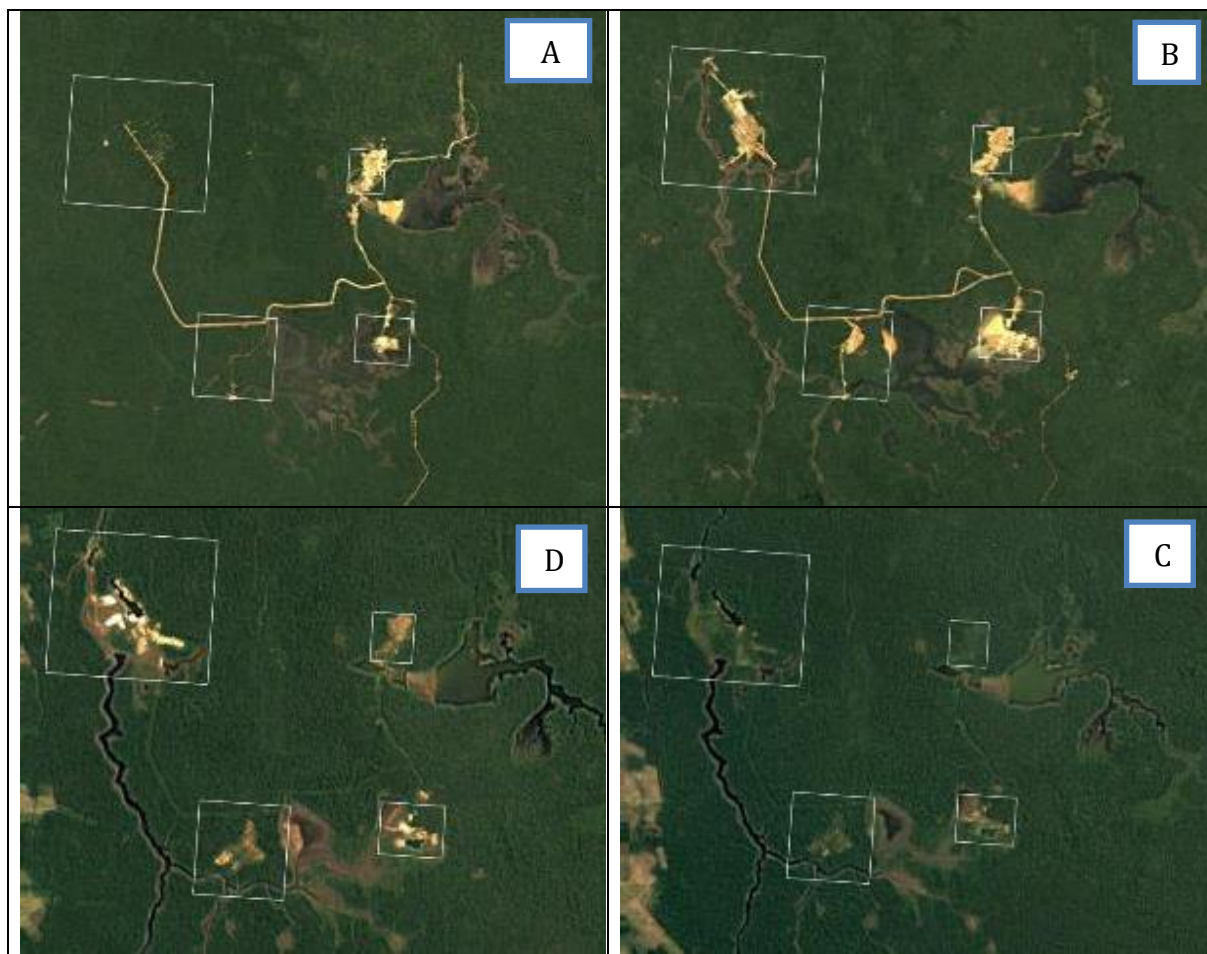


Figura 5. No sentido horário iniciando no polígono do canto superior esquerdo: 14 de Abril, Novo Mundo, Poço B e Cacimba, nos anos de 1984, 1988, 2000 e 2010. Fonte: Google Earth.

O próximo setor, composto pelas minas Serra da Onça, Santa Maria e Duduca, foi o que apresentou maior alteração em termos hidrológico, em função da formação de um grande lago ao nordeste da mina Duduca, com aproximadamente 1.350ha, devido as alterações nos sistemas de drenagem ao longo do período de exploração. A **(Figura 6)** demonstra a evolução das áreas a partir de 1988, bem como as áreas alagadas no entorno da mina Serra da Onça.

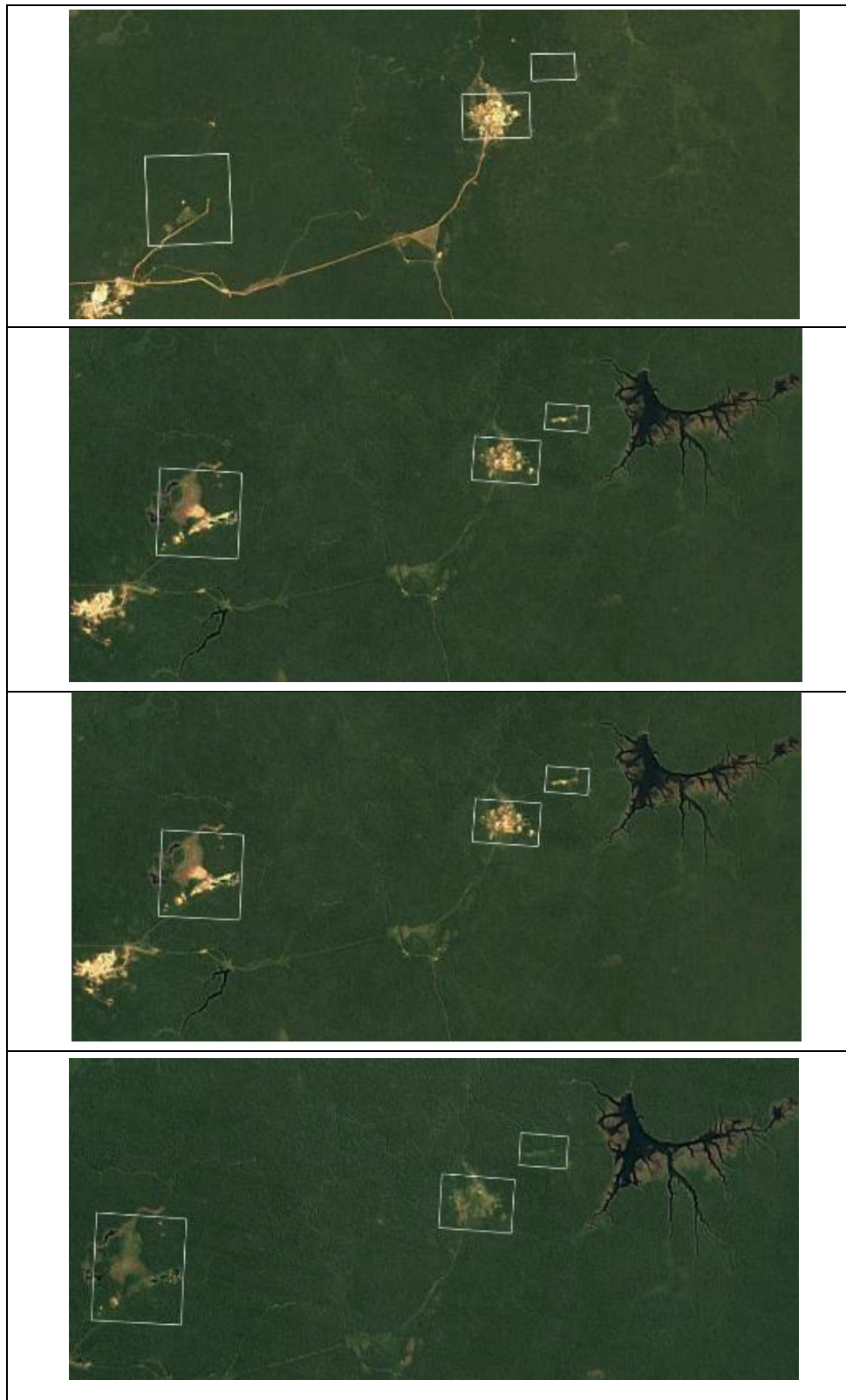


Figura 6 - Da esquerda para direita: Serra da Onça, Santa Maria e Duduca, nos anos de 1984, 1988, 2000 e 2010 (de cima para baixo). Fonte: Google Earth.

Essa situação formou grandes espelhos de água, com alguns deles apresentando situação de floresta afogada em função da maioria das áreas serem cobertas por densa floresta tropical. Alguns desses novos lagos encontram-se isolados, o que dificulta a instalação de uma ictiofauna adaptada a essa nova condição. Entretanto, segundo o plano de manejo da FLONA do Jamari,

IBAMA (2005), em levantamento realizado em todos os lagos, foram encontradas 33 espécies de peixes, sendo que o comum para a região, em condições naturais, seria de 183 espécies. Outra situação é o represamento de igarapés, o que altera não somente a sua geometria hidráulica, mas também resulta em fortes modificações hidrológicas, hidroquímicas e hidrobiológicas, como temperatura, turbidez e pH da água que não somente afetam a área do próprio reservatório, mas também a área abaixo da represa e, no caso da biota, até a área acima dela (JUNK & MELLO, 1990).

Segundo Pereira e Morais (2015), os valores do NDWI variam de -1 a 1, assim, quando tem $NDWI \geq 0$, significa que a área possui presença de água em superfície em algum nível e para $NDWI \leq 0$, não ocorre essa situação. Porém, os valores encontrados para os corpos d'água perenes nesse estudo foram aqueles maiores ou igual a 0,5. Já as áreas com umidade sazonal ficaram com valores entre 0 e 0,49, com gradação de alagamento nesse intervalo. A vegetação apresentou valores menores que 0.

5.2.1. Mina 14 de Abril

Essa é uma das áreas que mais apresentam problema com alagamentos sazonais, porém a maior parte dela no nível 1 (**Figura 7**), ou seja, áreas com curtos períodos de alagamento e que permitem o desenvolvimento de espécies adaptadas. Essas áreas correspondem a mais de 65% das que sofrem alagamento (**Tabela 5**) e estão ocupadas principalmente com campo sujo ou vegetação rala, visto a dificuldade de desenvolvimento de espécies arbóreas. No total, essas áreas somam 22,6 ha, o que corresponde a aproximadamente 11% da mina. As áreas com nível máximo somam apenas 6 ha e encontram-se principalmente às margens dos lagos (**Figura 12**). Segundo informações do técnico da empresa responsável pela implementação do programa de recuperação, foram realizadas algumas tentativas de plantio nessas áreas, mas sem sucesso, em função da ocorrência sistemática de alagamento.

Os índices demonstram que as áreas evoluíram em termos de recuperação do solo e florestal, assim como na diminuição das áreas alagadas, ou muitas vezes apresentando saturação do solo.

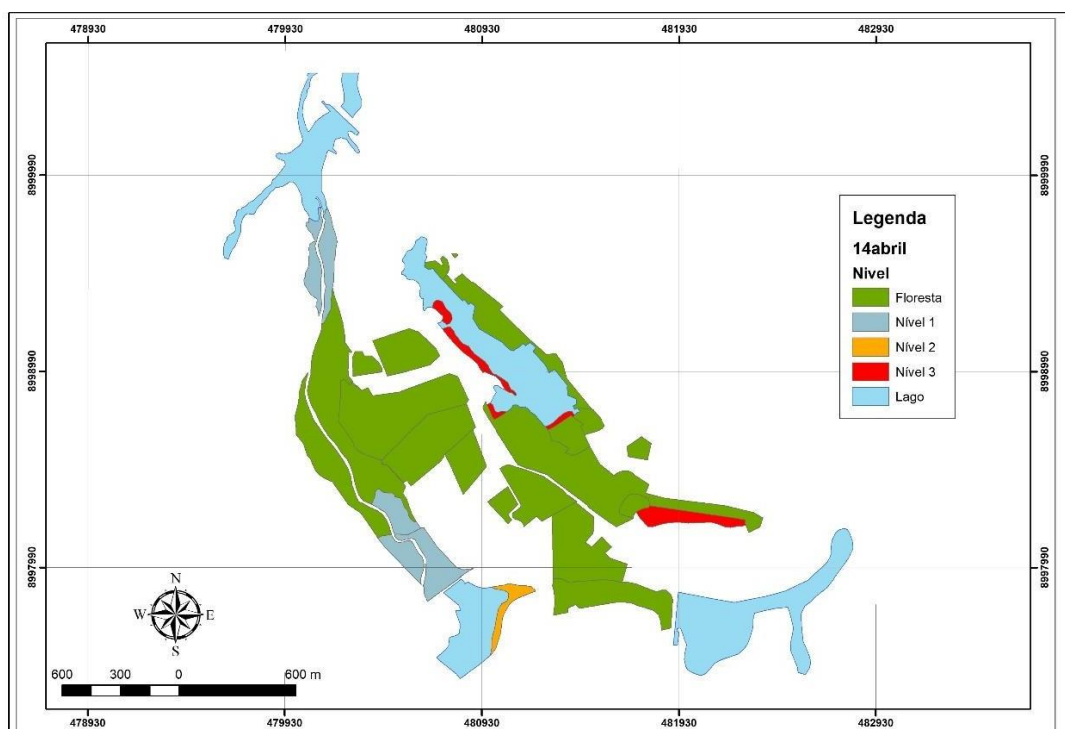


Figura 7- Distribuição das áreas com problemas de alagamento na mina 14 de Abril.

Tabela 5 - Distribuição das classes de alagamento e suas respectivas áreas

Classe	Frequência	Área	
		ha	%
Nível 1	5	14,87	65,8
Nível 2	1	1,81	8,0
Nível 3	5	5,93	26,2
Total		22,62	

Vale destacar que essa mina apresentava em 2011 um talhão com problema de alagamento e, após a abertura de um canal profundo de drenagem, a área iniciou uma revegetação espontânea, demonstrando ser essa uma das soluções para esse problema hidrológico.



Figura 8 - Sítio 14 de Abril, setor com alagamento sazonal, sem nenhum tipo de regeneração.

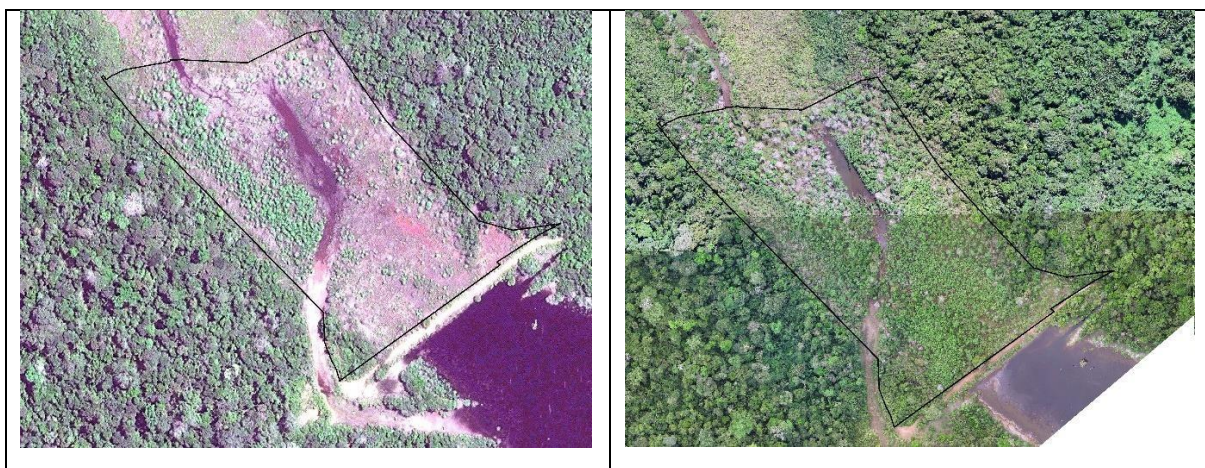


Figura 9 - Cobertura do talhão A9 em 2011 (a esquerda) e em 2019, após o aprofundamento do canal de drenagem.

As principais áreas sujeitas a alagamento sazonal (Nível 1) concentram-se principalmente ao longo de um canal que corta os talhões na faixa oeste da mina (**Figura 11**), no sentido norte-sul. Existem quatro lagos maiores e um menor, cujos reservatórios apresentam uma grande variação no nível de água entre os períodos secos e úmidos, expondo faixas de solos que logo são submersos nas primeiras chuvas (**Figura 12** e **Figura 13**).

O período máximo de alagamento no intervalo estudado ocorreu entre os meses de janeiro a março, entretanto, em decorrência de intensa cobertura de nuvens nesse período, não foi possível obter cenas adequadas para processamento.

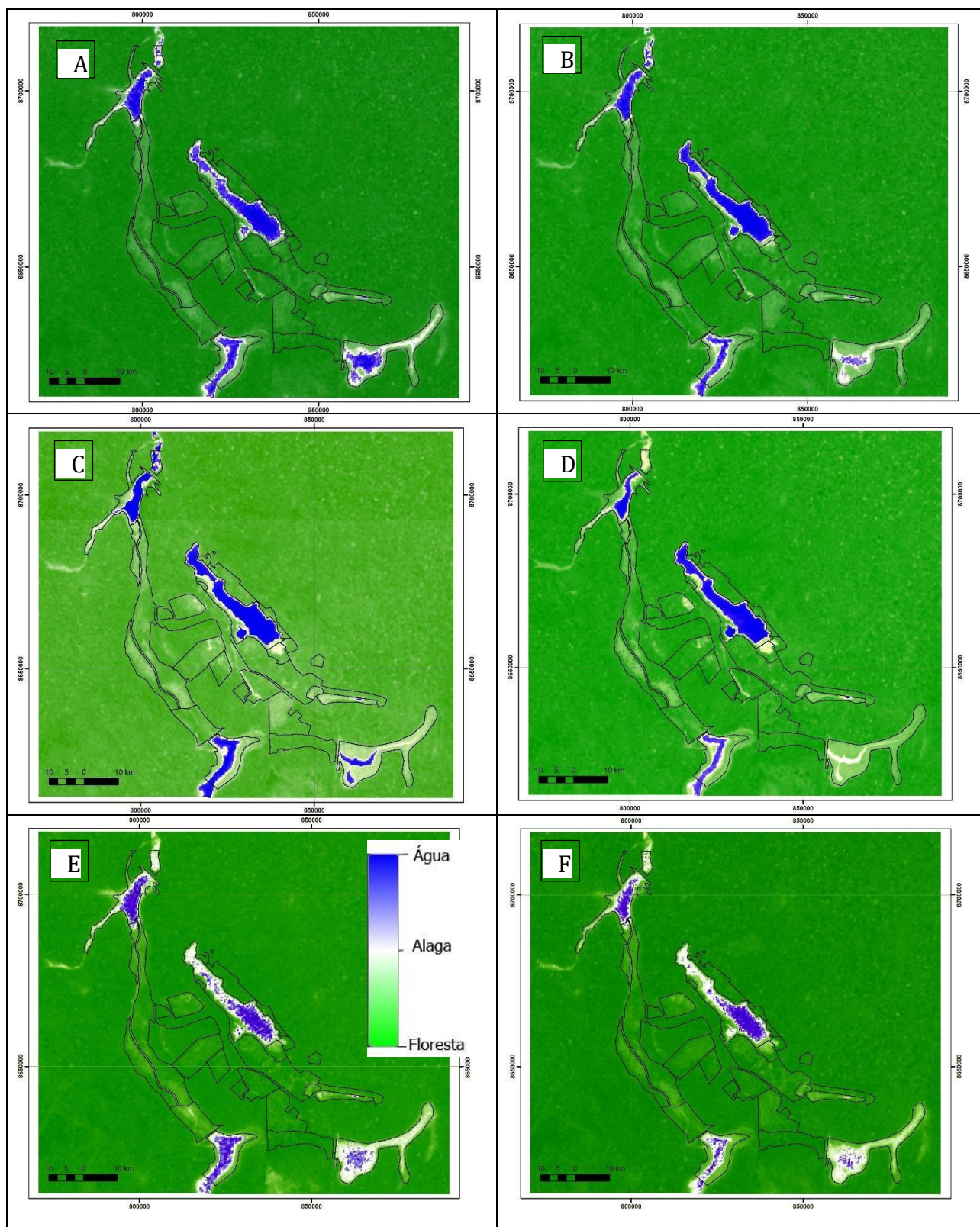


Figura 10 - Dinâmica da superfície inundável na mina 14 de Abril. A= junho-2019; B= julho de 2019; C= agosto de 2019; D= outubro de 2019; E- maio de 2020 e F= junho de 2020.



Figura 11 - Área marginal ao lago na mina 14 de Abril.



Figura 12 - Detalhe da área marginal de lago na mina 14 de Abril.

5.2.2. Mina Poço B

Já a mina Poço B apresenta cenário de complexa recuperação ambiental, possuindo áreas com massas d'água com expressivo volume, que provavelmente influencia toda a hidrologia local (**Figura 13**).

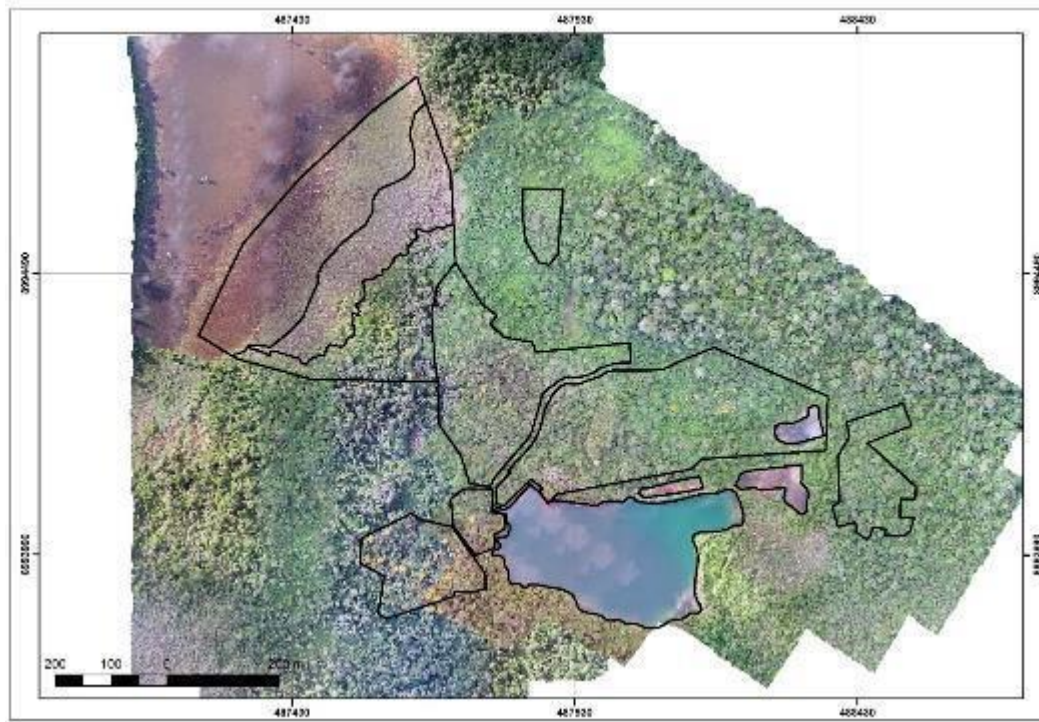


Figura 13 - Imagem da mina Poço B, com os lagos de influência.

Não apresenta área com Nível 1 de alagamento, mas as áreas com níveis 2 e 3 ocupam mais de 12 ha do total da mina, o que equivale a 27% da sua área (**Tabela 6**). As áreas com nível máximo representam mais de 65% das sujeitas a alagamento sazonal. Essas áreas são praticamente impossíveis de serem revegetadas devido ao constante e intenso alagamento a que são submetidas. Segundo informações do técnico responsável pelas ações de recuperação, as áreas dessa mina mais próxima do lago foram excluídas do processo de recuperação por não apresentar nenhuma evolução das mudas ali plantadas. Mesmo as áreas sujeitas a alagamentos sazonais menos intenso não apresentam evolução adequada da vegetação. Segundo Medri et al. (2002), o alagamento interfere em vários processos físico-químicos e biológicos, influenciando profundamente na qualidade do solo e no desenvolvimento da vegetação. Dentre as modificações destacam-se a limitação do oxigênio, que afeta a sobrevivência das plantas superiores de forma diferenciada entre as espécies, o que faz com que a variação na sua disponibilidade consiste num forte determinante ecológico (CARVALHO et al, 2006).

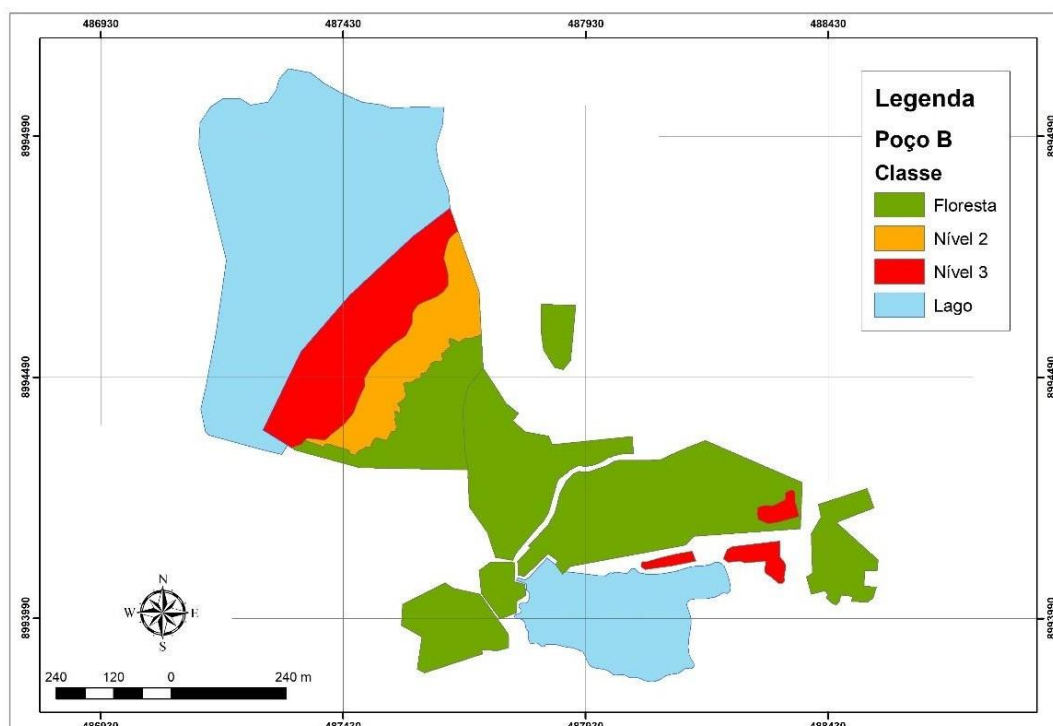


Figura 14 - Distribuição das áreas com problemas de alagamento na mina Poço B.

Tabela 6 - Distribuição das classes de alagamento na mina Poço B.

Classe	Frequência	Área		
			ha	%
Nível 2	1		4,27	34,74
Nível 3	4		8,02	65,26
Total			12,29	

Na zona intermediária desse talhão, em decorrência da situação de alagamento sazonal, não ocorre a evolução da vegetação, ocorrendo apenas tipologias arbustivas e rasteira.

Na análise espectral é possível observar o avanço da área alagada comparando a imagem de outubro/2019 com a de janeiro/2020, que foi o mês de maior precipitação (**Figura 15**). Na parte noroeste da mina observa-se o avanço da água sob a área da mina. Verifica-se também a grande mancha de áreas alagável sob o talhão mais ao noroeste, que fica mais intenso a partir de outubro, formando inclusive uma extensão do lago, o que justifica a eliminação da área mais externa desse talhão.

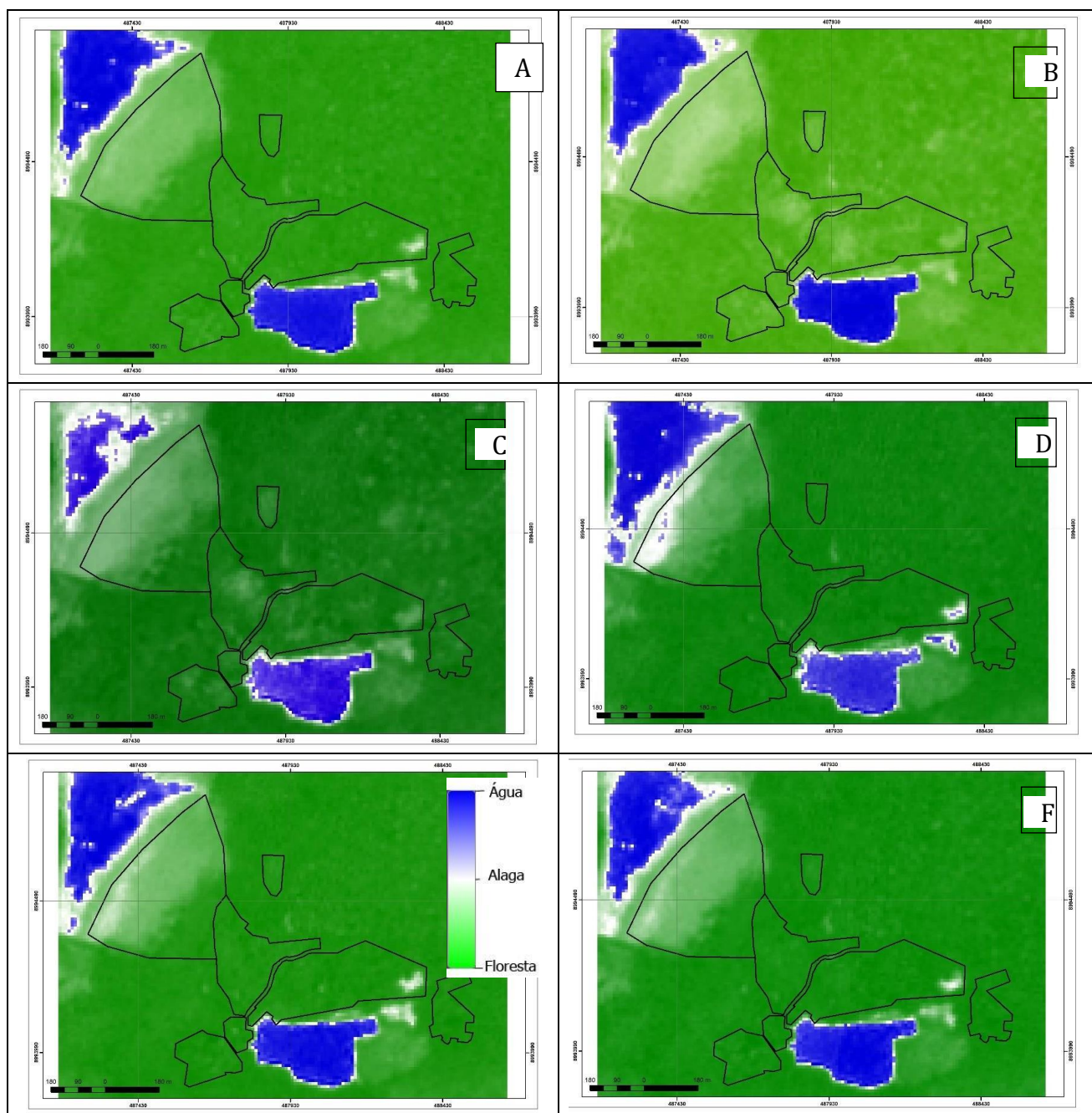


Figura 15 - Dinâmica da superfície inundável na mina Poço B. A= junho-2019; B= agosto de 2019; C= outubro de 2019; D= janeiro de 2020; E- maio de 2020 e F= junho de 2020.

Nas margens dos lagos surge pequenas faixas de solos nos períodos secos, e que logo são encobertos com as primeiras chuvas. A (**Figura 16** e **Figura 17**) apresenta a situação do lago sul da mina em dois anos, um em 2017 e outra em 2019, respectivamente período seco e outro chuvoso.



Figura 16 - Margem do lago sul da mina Poço B, em 2017.



Figura 17 - Margem do lago sul da mina Poço B, em 2017 (acima) e 2019 (abaixo), evidenciando as margens expostas nos períodos secos.

5.2.3. Mina Serra da Onça

Na mina Serra da Onça, o cenário demonstra desenvolvimento da vegetação presente em diferentes estágios de regeneração, porém as áreas sujeitas a alagamentos ocupam extensas áreas, principalmente no seu setor mais ao sul, configurando, talvez, uma paisagem que somente possa ser alterada com execução de abertura de canais de drenagem (Figura 18).



Figura 18 - Áreas da mina Serra da Onça.

Não apresenta área com nível 1 de alagamento e as áreas com níveis 2 e 3 ocupam apenas 2,3 ha do total da mina, o que equivale a 2,6% da sua área (**19, Tabela 7**). As áreas com nível máximo representam mais de 93% das sujeitas a alagamento sazonal. Concentram-se nas margens dos lagos e estão expostas a alagamentos sazonais prolongados, o que dificulta a evolução das mudas nesses locais (**Figura 20**).

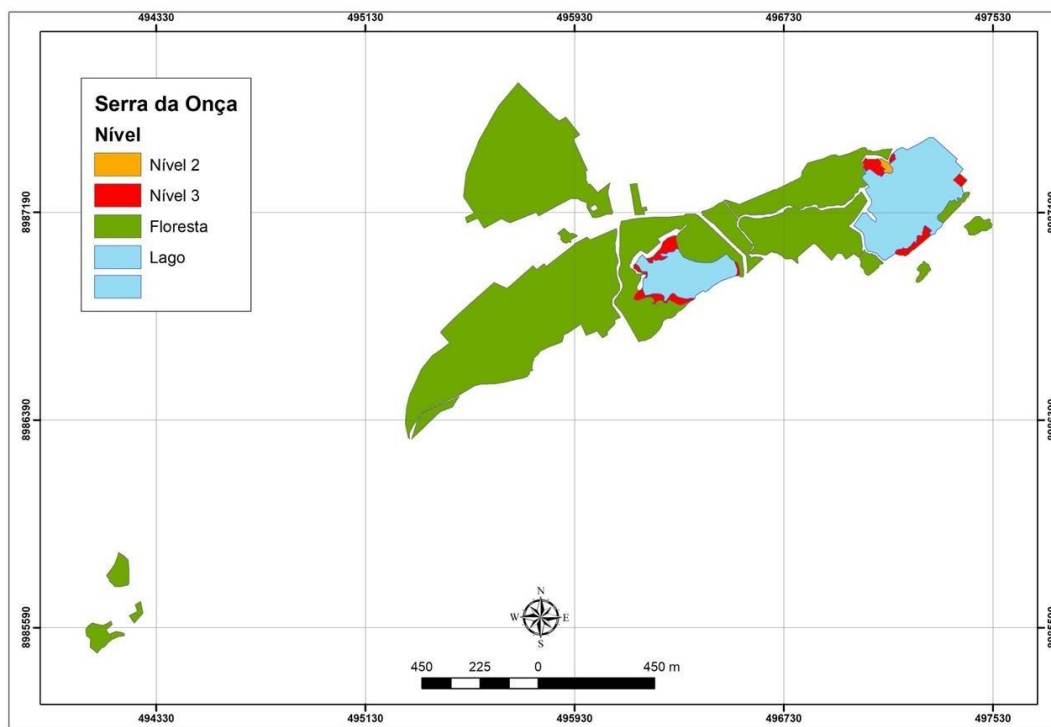


Figura 19 - Distribuição das áreas com problemas de alagamento na mina Serra da Onça.

Tabela 7 - Distribuição das classes de alagamento.

Classe	Frequência	Área	
		ha	%
Nível 2	1	0,16	6,99
Nível 3	8	2,13	93,01
Total		2,29	



Figura 20 - Sítio Serra da Onça, setor alagado com dominância da espécie *Genipa americana*.

Conforme pode ser observado na Figura 20, no mês de junho de 2019 os lagos encontravam-se com seus menores níveis de água. É possível ainda observar que as margens desses lagos correspondem às áreas alagadas que ficam expostas nos períodos secos. Com a chegada das primeiras precipitações mais intensas, já no mês de outubro, essas áreas são novamente alagadas.

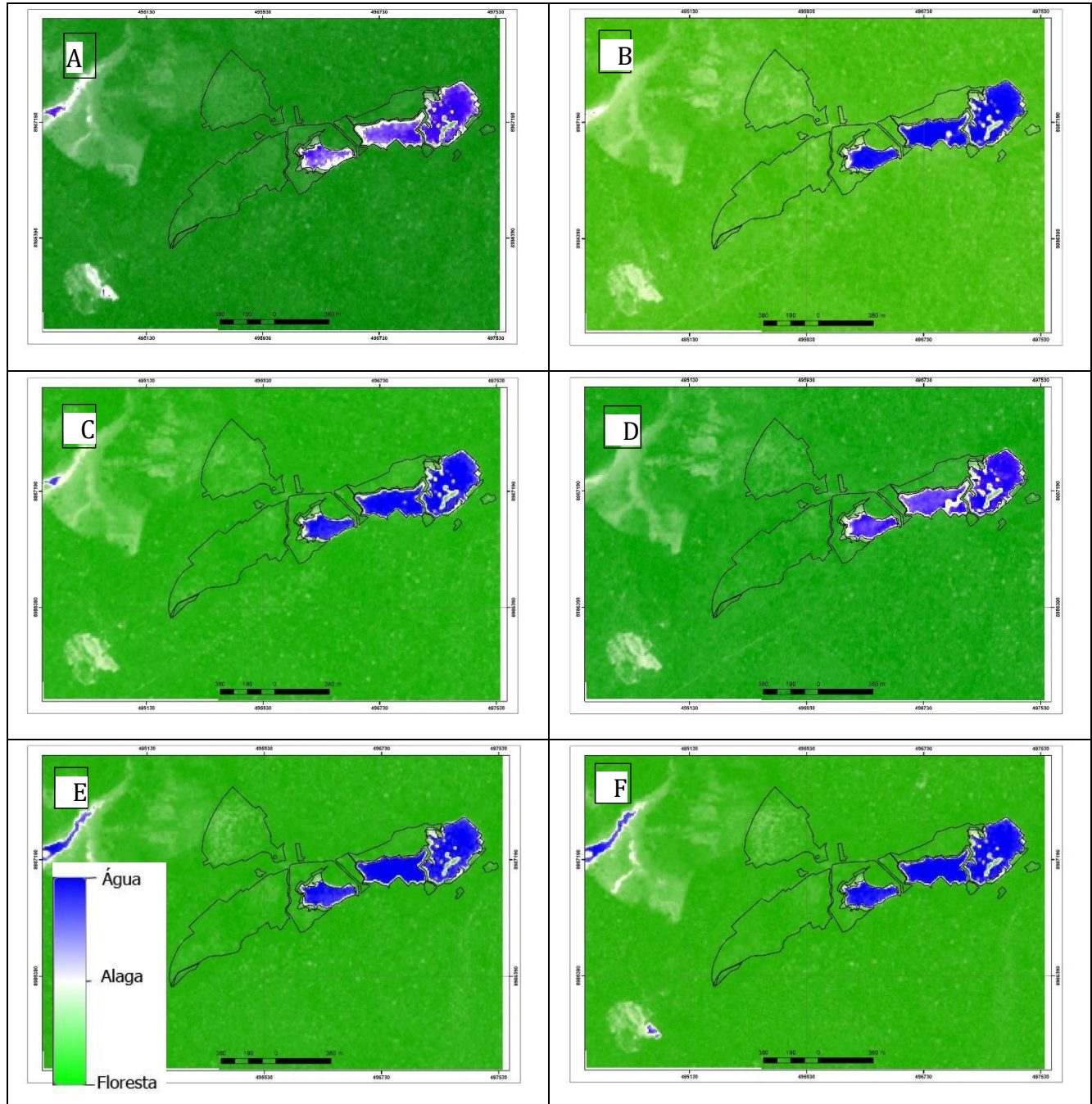


Figura 21 - Dinâmica da superfície inundável na mina Serra da Onça. A= junho-2019; B= julho de 2019; C= agosto de 2019; D= janeiro de 2020; E- maio de 2020 e F= junho de 2020.

O setor mais ao norte, apresenta leve tendência à alagamento. Nota-se também uma área ao oeste com forte tendência ao alagamento, mas que atualmente encontra-se fora do limite da mina. De maneira geral, considerando a delimitação atual da área, essa mina não apresenta problemas mais sérios de alagamento, com exceção de pequenas faixas nas margens dos lagos, no local onde foi instalado um dos sítios de monitoramento. Nesta área o alagamento sazonal ocasiona um elevado índice de morte das mudas (**Figura 22** e **Figura 23**) e ocorre o predomínio de espécies adaptadas a essa condição, como o Genipapo (*Genipa americana* L).



Figura 22 - Área com alagamento sazonal no período chuvoso na área A12 (condição em 2015).



Figura 23 - Mesma área no período seco na área A12 (condição em 2017).

5.2.4. Mina Santa Maria

A mina de Santa Maria é a mais antiga e possui intensos processos de alagamentos sazonais. Apresenta muitos lagos, alguns deles muito rasos, o que faz com que no período seco fiquem com áreas de solos expostos (**Figura 24**). Mesmos alguns talhões apresentando bom desenvolvimento da sua cobertura florestal, podem apresentar algumas faixas marginais a esses lagos que podem sofrer alagamento sazonal.



Figura 24 - Talhões da mina Santa Maria.

As áreas que sofrem alagamentos sazonais totalizam cerca de 13 ha, o que corresponde a pouco mais de 10% de todo o território da mina, sendo que mais da metade refere-se ao nível 2 de alagamento (**Figura 25**). As áreas com nível 3 somam aproximadamente 30% das áreas susceptíveis ao alagamento e concentram-se às margens dos muitos lagos dessa mina (**Tabela 8**). Nessa mina ocorreu o plantio de mudas em áreas sujeitas a alagamentos sazonais as quais não apresentaram evolução satisfatoriamente. Em uma dessas áreas foi instalado o outro sistema de monitoramento, localizado no interflúvio entre dois lagos (**Figura 26**).

O período de menor nível dos lagos nessa mina ocorre no mês de agosto/2019 (**Figura 27**). Já no mês de janeiro/2020 observa-se que, mesmo sendo um período de elevada precipitação, alguns dos lagos localizados ao oeste da área, ficaram secos ou apresentaram baixíssimo nível de água. As áreas sujeitas aos processos de alagamento sazonal ocorrem principalmente nas margens dos lagos.

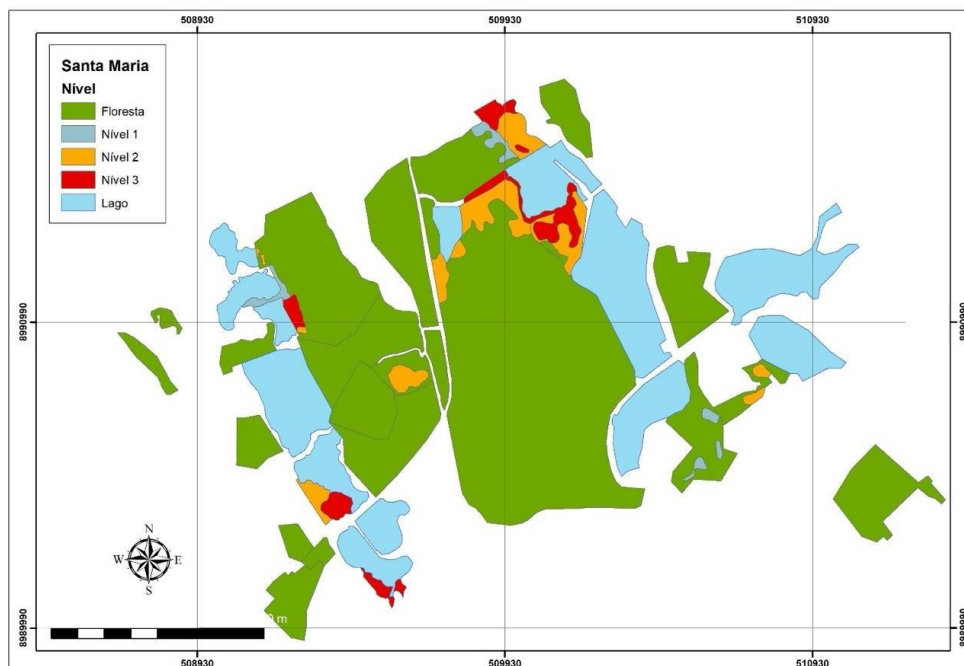


Figura 25 - Distribuição das áreas com problemas de alagamento na mina Santa Maria.

Tabela 8 - Distribuição das classes de alagamento

Classe	Área	
	ha	%
Nível 1	1,47	11,21
Nível 2	7,24	55,23
Nível 3	4,4	33,56
Total	13,11	

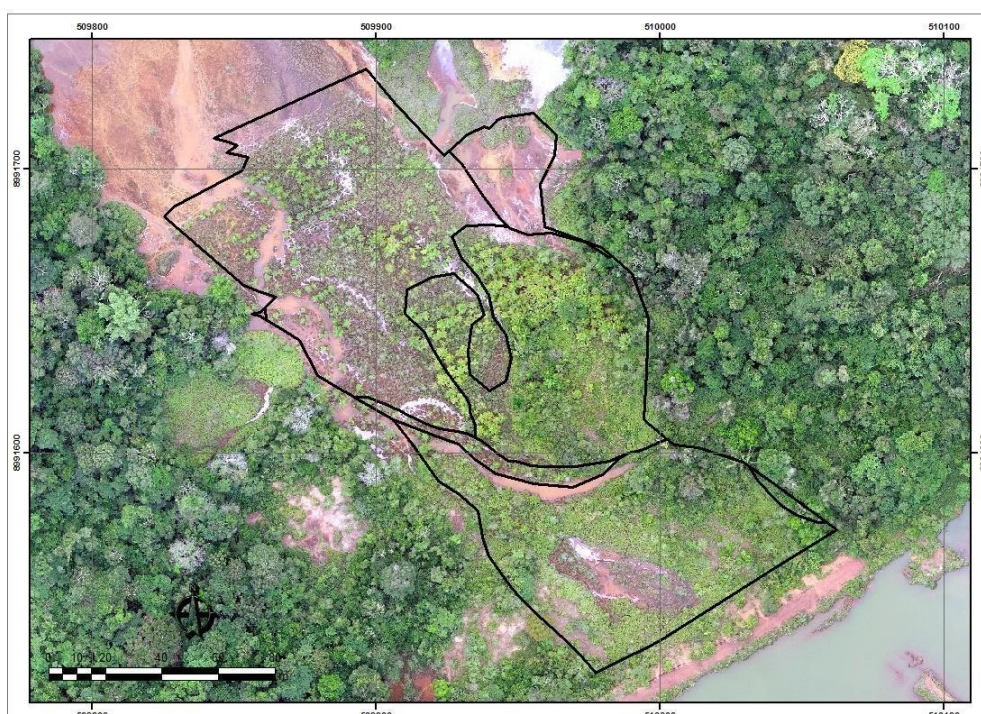


Figura 26 - Talhão da mina Santa Maria com plantio de mudas de três anos.

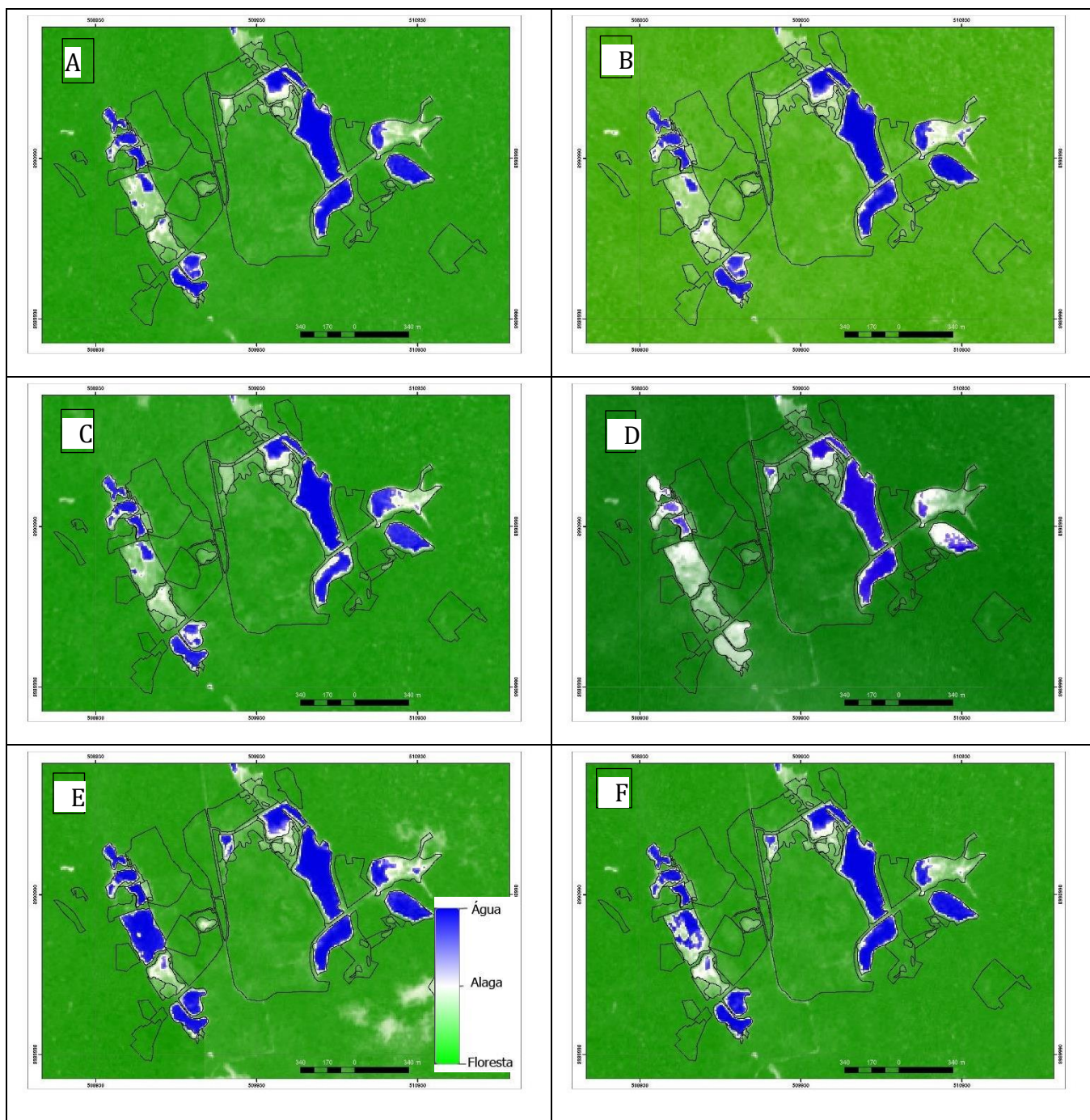


Figura 27 - Dinâmica da superfície inundável na mina Santa Maria. A= junho-2019; B= agosto de 2019; C= outubro de 2019; D= janeiro de 2020; E- abril de 2020 e F= junho de 2020.

5.2.5. Mina Potosí

A área da mina de Potosí possui muitos lagos, os quais somam mais de 9 ha (**Figura 28**). Alguns talhões possuem áreas marginais a esses lagos que ficam sujeitos a alagamento sazonal.

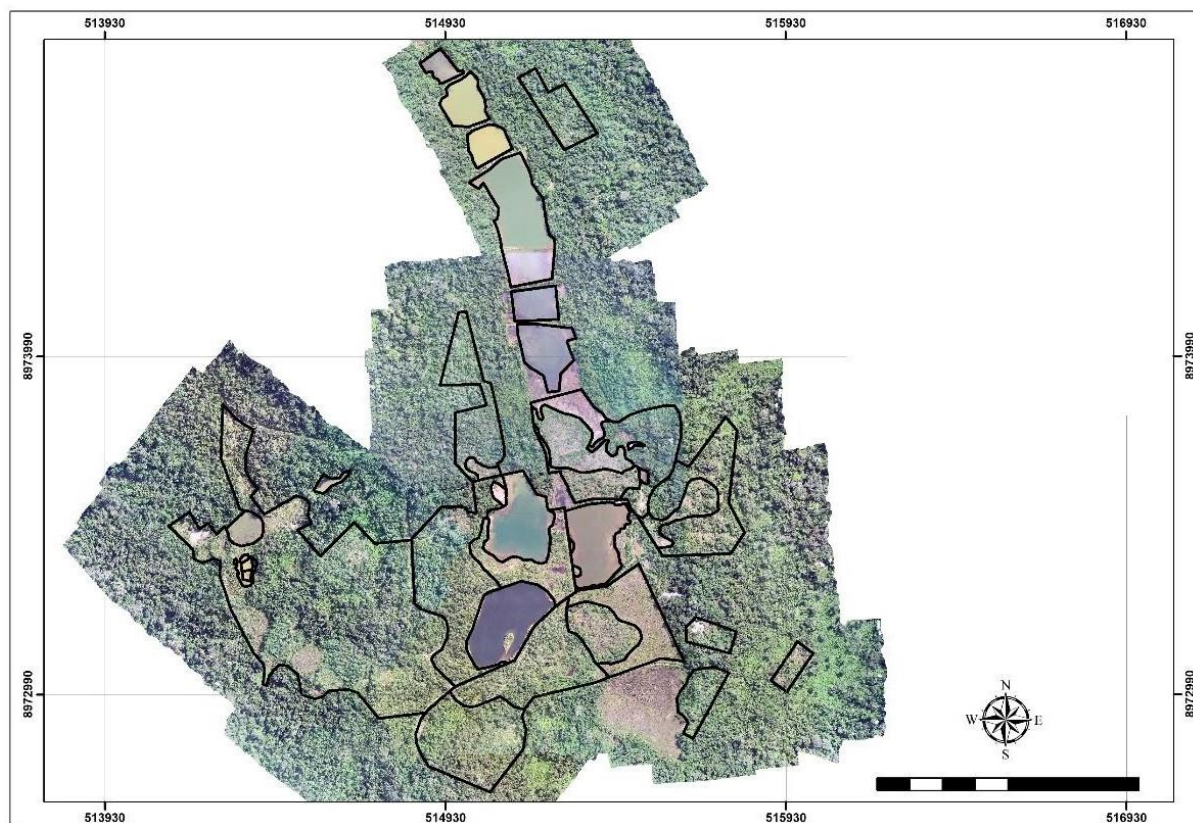


Figura 28 - Talhões da mina Potosí.

As áreas que sofrem alagamentos sazonais totalizam quase 50 ha, o que corresponde a pouco mais de 42% de todo o território da mina, sendo que destas, mais de 37% referem-se ao nível 3 de alagamento (**Figura 29, Tabela 9**), o mais comum nessa mina. As áreas com esse nível de alagamento ocorrem principalmente em duas faixas onde ocorrem os lagos, conforme apresentado na **Figura 30**.

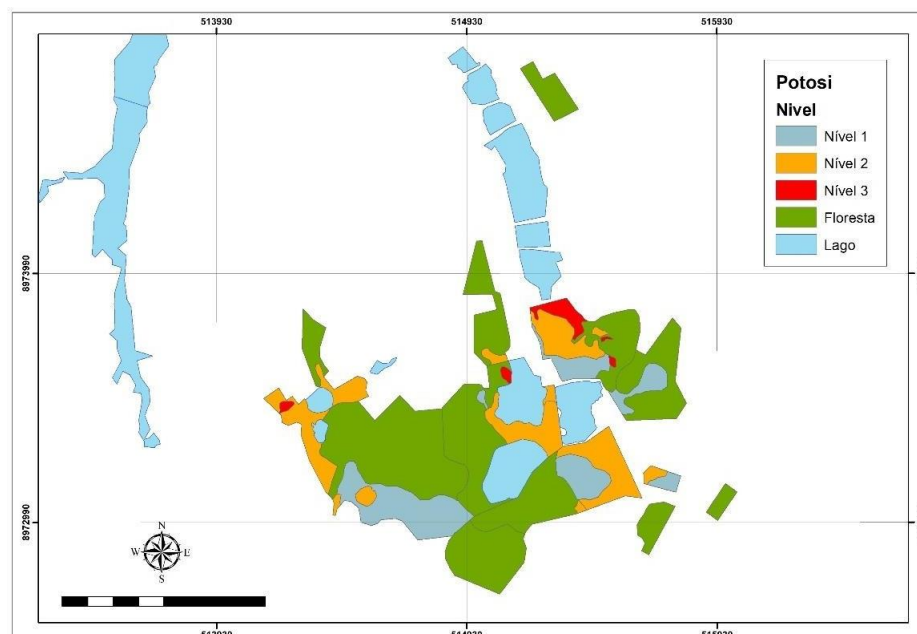


Figura 29 - Distribuição das áreas com problemas de alagamento na mina Potosí.

Tabela 9 - Distribuição das classes de alagamento e demais coberturas

Classe	Área	
	ha	%
Nível 1	14,03	28,49
Nível 2	16,69	33,88
Nível 3	18,54	37,63
Total	49,26	

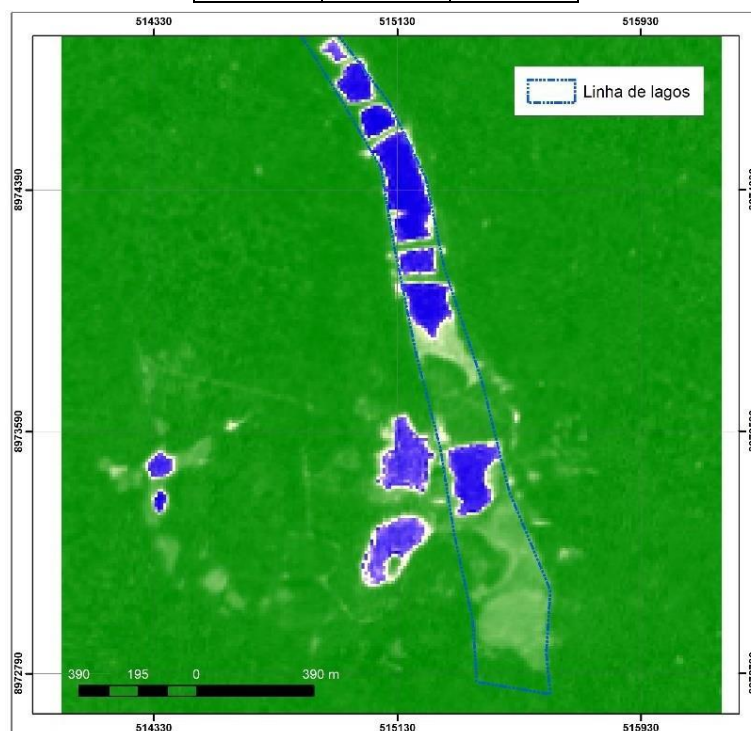


Figura 30 - Linhas de lagos/alagamento na mina Potosí.

O período em que as manchas sujeitas a alagamentos sazonais ficam mais evidentes é no mês de agosto/2019 (**Figura 31**). Já no mês de janeiro/2020 observa-se o máximo de alagamento devido ser um período de elevada precipitação. As áreas sujeitas aos processos de alagamento sazonal ocorrem principalmente na linha dos lagos e em algumas áreas ao oeste da mina. Em relação aos índices espectrais, o mês de novembro de 2019 não apresentou cenas livres de nuvens, quase todas as coletadas estavam com 100% de nuvens, o que impediu de usá-las no processamento. O mesmo ocorreu para os meses de fevereiro, março de 2020. No mês de dezembro de 2019 a área da mina Santa Maria e Poço B e 14 de abril apresentaram efeito de cobertura de nuvem, o que influenciou nos valores dos índices, sendo esses descartados. No mês de abril tinha nuvens nas minas Poço B e Serra da Onça.

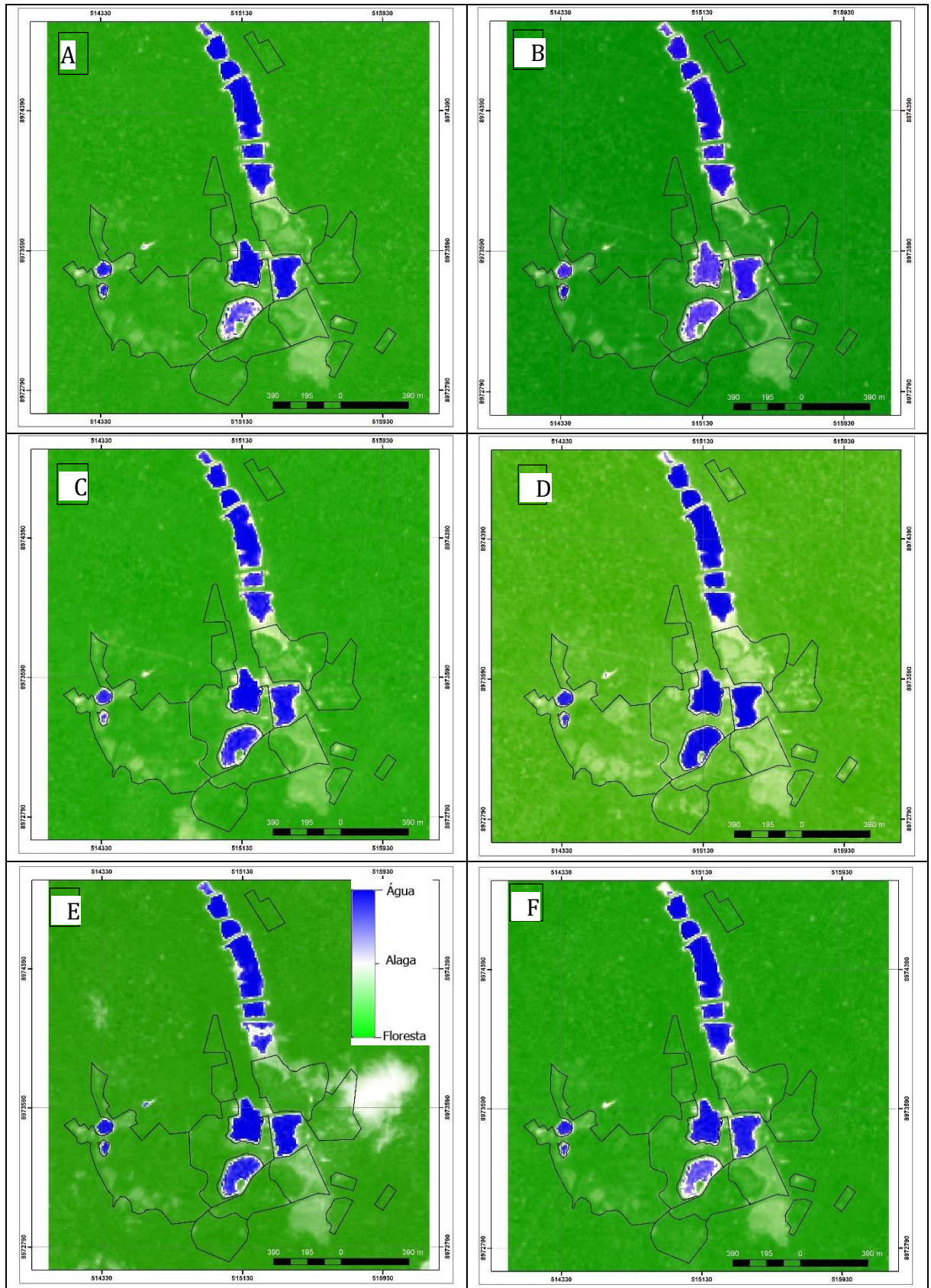


Figura 31 - Dinâmica da superfície inundável na mina Potosí. A= junho-2019; B= agosto de 2019; C= dezembro de 2019; D= janeiro de 2020; E- abril de 2020 e F= junho de 2020.

5.3. Temperatura do Solo

A temperatura do solo é de grande influência, tendo impactos nos aspectos de crescimento, desenvolvimento e manutenção da vida vegetal (Paul et al., 2004), assim como em processos físicos do solo e nas trocas de energia com o meio. As sementes, por exemplo, só germinam quando a temperatura do solo é adequada. Sendo assim, temperaturas altas podem causar danos na produtividade, interromper a germinação e maturação de sementes, além de elevar a evaporação hídrica deixando o solo seco e até improdutivo (Gasparin et al., 2005).

Em ambos os sítios a variação da temperatura do solo na maior profundidade (30 cm) apresentou pouca amplitude, com uma média de 26,13 °C e Desvio Padrão de 0,18 ° para o sítio de Santa Maria (**Figura 32**) e de 27,6 °C e desvio padrão de 1,1 °C para o sítio de Serra da Onça (**Tabela 10**). Valor semelhante foi encontrado por Carneiro et al. (2014) em fragmento da Mata Atlântica no estado de Alagoas, onde encontraram temperatura média de 25,1 °C. Nunes et al. (2017), utilizando sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) do Landsat-8, encontraram temperatura variando entre 22 e 33 °C no leste do estado da Amazônia.

Já a temperatura a 10 cm de profundidade, apesar da média semelhante à média da profundidade de 30cm, apresentou desvio padrão de até 3,07 °C. Isso ocorre em função da influência maior da variação da temperatura do ar. No sítio Serra da Onça, a diferença entre as temperaturas máximas e mínimas a 10 cm alcançou 21,6 °C, enquanto a 30 cm foi de 17,9 °C (**Figura 33**). Essa diferença de temperatura entre os dois sítios pode ter sido influenciada pelas diferentes classes texturais e pelo nível de alagamento, sombreamento, ação do vento e outros fatores.

Tabela 10 - Estatística descritiva dos dados de temperatura do solo.

	Santa Maria		Serra da Onça	
Parâmetro	10 cm	30 cm	10 cm	30 cm
Média	26,42	26,13	27,60	26,15
Máxima	26,67	25,14	34,06	39,86
Mínima	22,46	24,43	18,29	23,10
Desvio Padrão	1,14	0,18	3,07	1,10

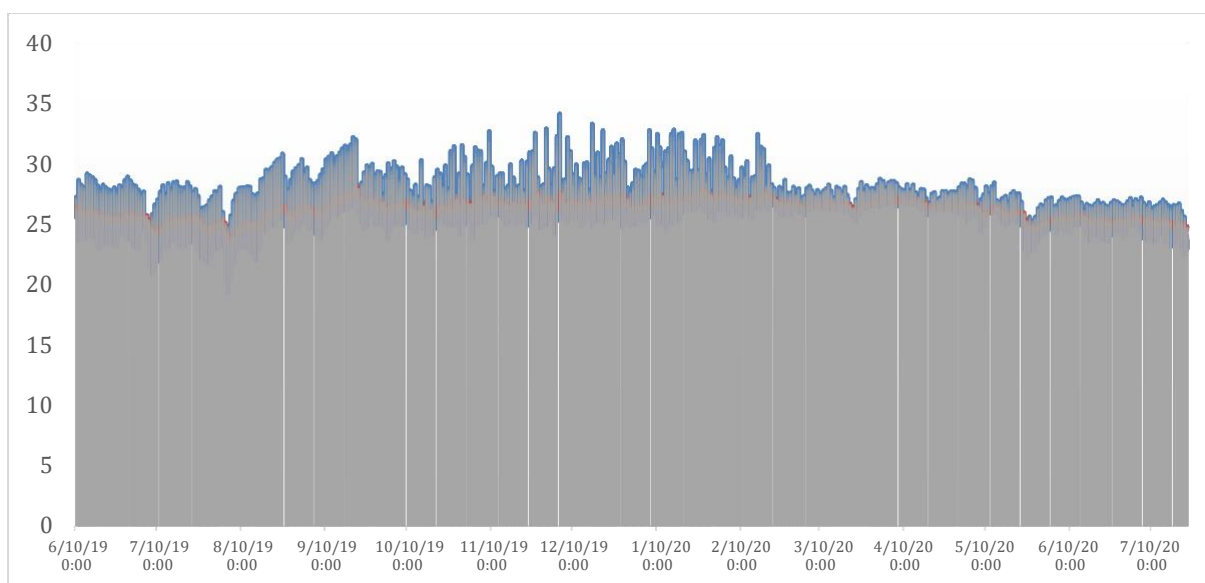


Figura 32 - Temperatura do solo nas profundidades de 10 cm (linha azul) e 30 cm (linha laranja) do sítio de Santa Maria.

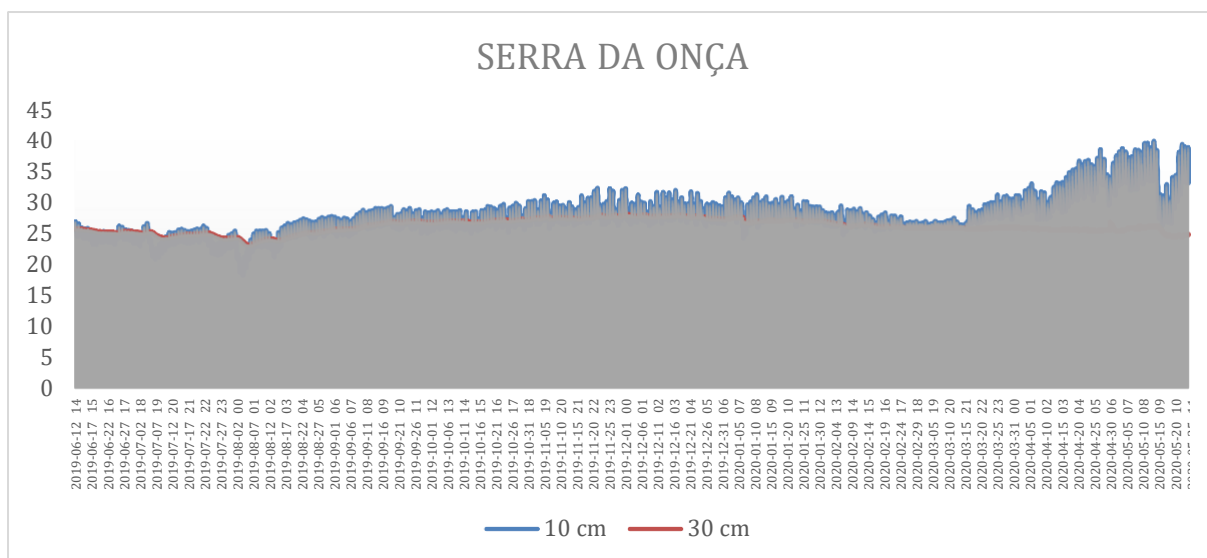


Figura 33 - Temperatura do solo nas profundidades de 10 cm (linha azul) e 30 cm (linha laranja) do sítio da Serra da Onça.

5.4. Umidade do solo

O sítio de Serra da Onça apresentou média de umidade do solo superior à média do sítio de Santa Maria, em função do seu solo apresentar maior teor de argila conforme demonstrado na (Figura 34). A maior média com valor de $0,40 \text{ m}^3.\text{m}^3$ foi encontrada no perfil de maior profundidade (70cm) na mina da Serra da Onça, sítio instalado próximo a massa d'água permanente que se encontra na área. A mina Serra da Onça apresentou médias elevadas ao longo de todo o período, com exceção na profundidade de 50cm.

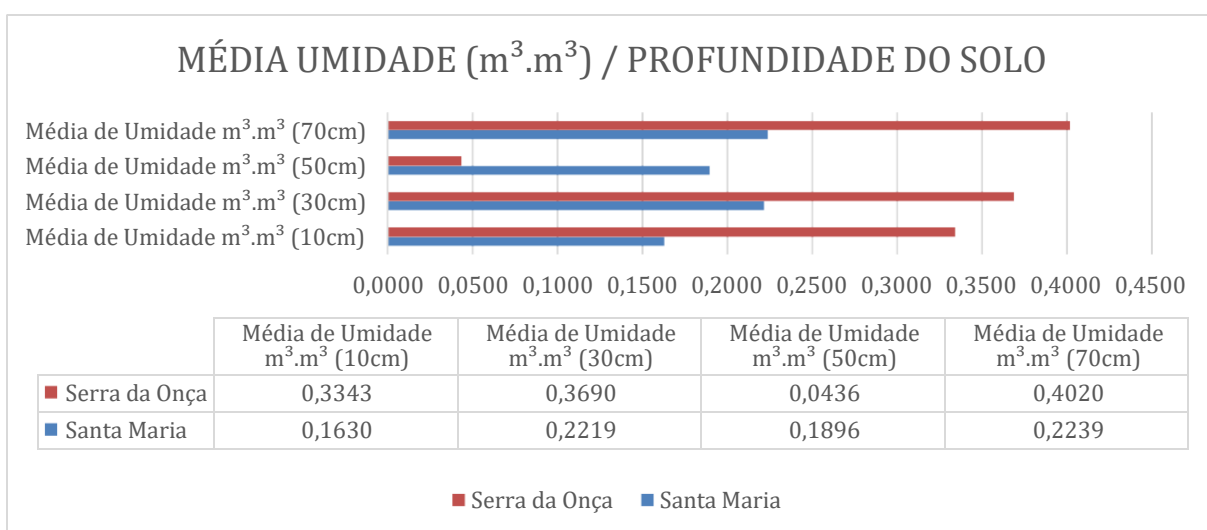


Figura 34 - Média da umidade do solo em diferentes profundidades nos sítios Santa Maria e Serra da Onça.

Quando o alagamento ocorre em solos ácidos, como é o caso das áreas estudadas, a deficiência de O_2 nos solos inundados, pode ocasionar toxidez às plantas, principalmente pelo excesso de Fe e Mn e pelo acúmulo de substâncias fitotóxicas como dióxido de carbono e etileno (Rodrigues et al., 1993). Essa condição pode fazer com que a planta apresente sintomas como murchamento, clorose das folhas, hipertrofia do caule, alterações morfoanatômicas, diminuição do crescimento e da produtividade e morte das raízes (Bradford e Yang, 1981; Kramer, 1983). Assim como Rodrigues et al. (2011) estudando as relações da distribuição populacional microbiana, com o conteúdo volumétrico de água no solo (CVAS) em escala sazonal, percebe-se que variações no teor de água no solo, influenciam diretamente a proporção de fungos e bactérias no solo, ou seja, à medida que se diminui o volume de água no solo, tende a diminuir as populações de bactérias e aumentar as populações de fungos, que auxiliam na decomposição de matéria orgânica do solo e vice-versa.

Segundo Souza et al. (2013), o valor $\theta = 0,32 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ corresponde ao solo de textura média saturado, enquanto para solos argilosos esse valor é acima de $\theta = 0,43 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$.

5.4.1 Sítio Santa Maria

A textura do solo desse sítio é média a arenosa. Ao observar a (**Figura 35**) é possível verificar que no início do monitoramento (junho-2019), ocorreu um decréscimo gradual da umidade do solo em função da baixa precipitação nesse período. Somente no final de agosto a precipitação foi capaz de gerar o primeiro pico de umidade do solo. A partir deste mês, toda precipitação já era capaz de ocasionar saturação do solo em todas as profundidades. Como era de se esperar, a primeira profundidade a apresentar saturação contínuo foi a mais profunda (75 cm), logo no início de dezembro. As profundidades de 30 e 50 cm praticamente alcançaram a saturação no mesmo período, ambas no meio do mês de janeiro. A camada que mais demorou a saturar o solo foi a mais superficial, que ocorreu no meado de fevereiro de 2020. Essa é também a profundidade que apresentou maior variação.

Somente no meado de julho/20 que iniciou o decréscimo da umidade do solo na profundidade de 75 cm, permanecendo, portanto, 225 dias continuamente saturado. De forma descontínua foram cerca de 255 dias. Isso representa aproximadamente 70% do período com solo saturado na profundidade de 75 cm. Nas camadas de 30 e 50 cm esse período de saturação foi de 6 meses, 50% do período estudado.

O encharcamento do solo (ou sua saturação por água), com todos seus poros estão totalmente preenchidos com água, afeta as plantas de diferentes formas. Na fase inicial da planta limita o desenvolvimento do seu sistema radicular e, por consequência, a absorção de nutrientes, pois em situações de hipoxia a respiração das raízes é prejudicada, o que pode levar à sua perda parcial, ou, dependendo da frequência, à perda total do sistema radicular e até à morte da planta (Merdi et al., 2004). Mesmo havendo nutrientes em quantidade suficiente no solo, a planta não é capaz de absorvê-los, uma vez que o potencial redox do solo é alterado, tornando-os indisponíveis às plantas, o que pode favorecer as perdas por lixiviação, especialmente do nitrogênio.

Nos ambientes com excesso de água no solo, há um estresse pelo decréscimo da concentração de oxigênio no meio (Jackson e Drew, 1984), acarretando uma série de distúrbios no metabolismo das plantas que se manifestam por meio de alterações no crescimento e desenvolvimento (Crane e Davies, 1988). Além disso pode afetar a produção e translocação de reguladores de crescimento, a fotossíntese, a respiração e a alocação de carboidratos, prejudicando o desenvolvimento da planta ou levando à sua morte. Até mesmo afeta a germinação das sementes e pode gerar monodominância de espécie adaptadas a essa condição de alagamento. Segundo Pires (2015), mesmo plantas adaptadas sofrem com problemas de

germinação em condição de alagamento. Ele apontou que o percentual de germinação de *G. americana* apresentou uma redução de 66%.

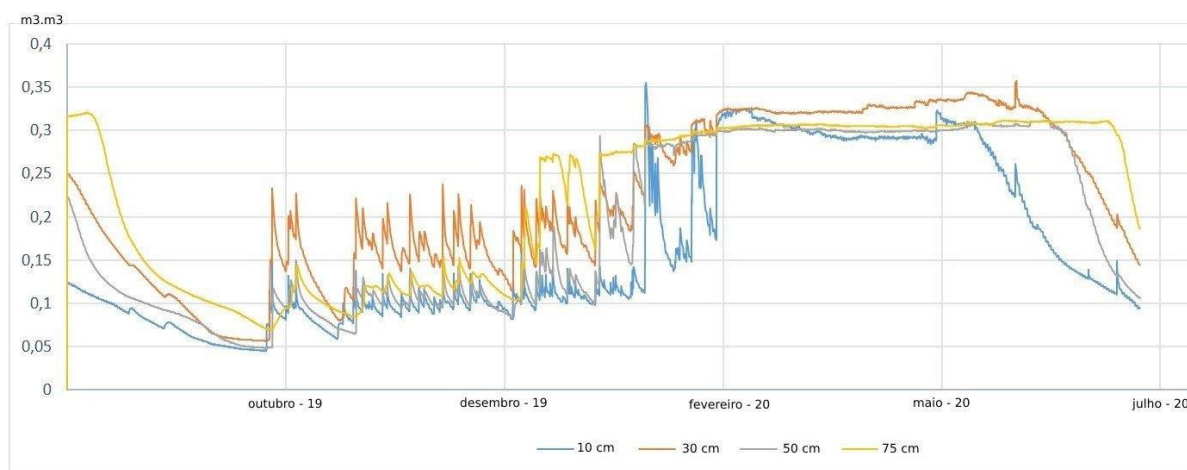


Figura 35 - Umidade volumétrica no sítio Santa Maria.

5.4.2 Sítio Serra da Onça

A textura do solo desse sítio é média a muito argilosa, o que aumentou a retenção de água. Diferente do observado no sítio anterior, é possível verificar que a condição de saturação se prolonga no início do monitoramento até o final do mês de julho-2019 na profundidade de 60 cm (**Figura 36**). Esse solo apresenta uma umidade maior em todo o período monitorado comparado com o de Santa Maria, mas apresentou um atraso do início da saturação do solo em relação ao sítio anterior, em função da sua textura muito argiloso, que influencia na infiltração, que se torna mais lenta. Porém, o comportamento da dinâmica da umidade do solo seguiu o mesmo modelo dos dados do sítio de Santa Maria, apenas com tempos de início e encerramento distintos.

A primeira profundidade a apresentar saturação contínuo também foi a mais profunda (60 cm), só que no meado de janeiro. O sensor da profundidade de 50 cm apresentou problema de funcionamento e seus dados foram descartados. Na profundidade de 30 cm o solo atingiu a saturação somente em 10 de fevereiro e na profundidade de 10 cm somente no primeiro dia de março. Ao total, na profundidade de 60 cm, foram 8,5 meses de condição continuamente saturada, um mês a mais que o sítio anterior.

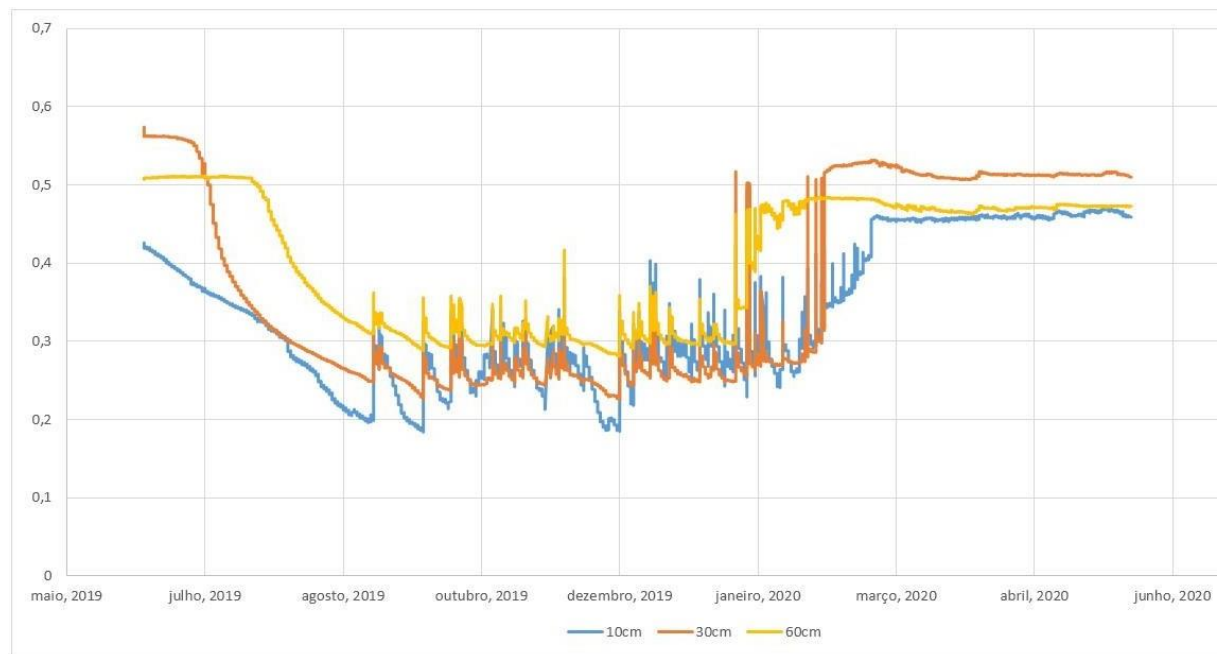


Figura 36 - Umidade volumétrica no sítio Serra da Onça.

5.5. Radar de Penetração no Solo

Nesse estudo o uso do GPR foi direcionado principalmente para identificar a profundidade do nível de saturação do solo, pois quanto mais superficial ele é, maior será a limitação do desenvolvimento da vegetação, pois afeta o crescimento da raiz por falta de oxigênio no horizonte encharcado. O solo saturado apresenta elevada constante dielétrica (>25) (KAISER et al., 2010) e absorve boa parte da energia emitida pelo equipamento, gerando um forte refletor. O alcance do sinal variou, de maneira geral, entre 1,5 m (em solos mais úmidos) e 2,5 m (em solos mais secos). Em função da frequência utilizada (400 MHz) e a elevada umidade dos substratos, foi uma profundidade de alcance dentro do esperado (KLOTZSCHE et al., 2018). A seguir apresentamos os resultados das linhas de varredura com o uso do GPR.

Linhas 86 e 89 (Figura 37) Serra da Onça: Área onde foi instalado um dos sistemas de monitoramento, trata-se de faixa marginal a lago, com plantio de jenipapo. Área com subsolo extremamente encharcado. Com a abertura do perfil a água minou aos 70 cm de profundidade. Essa situação pode ser claramente observada no radargrama da linha 86, com sentido da mata para o lago. É possível verificar como a área encharcada vai ficando cada vez mais próximo da superfície. Quanto mais úmido, mais intenso é o refletor. Já na linha 89, no sentido do lago para a mata, a parte inicial do radargrama apresenta uma umidade muito maior que a parte final. A partir de 14 m do início do radargrama (que possui 32,5m), a parte encharcada apresenta uma inclinação e vai se aprofundando até 1,5 m. O material que surge a partir desta distância é homogêneo e seco, livre de encharcamento.

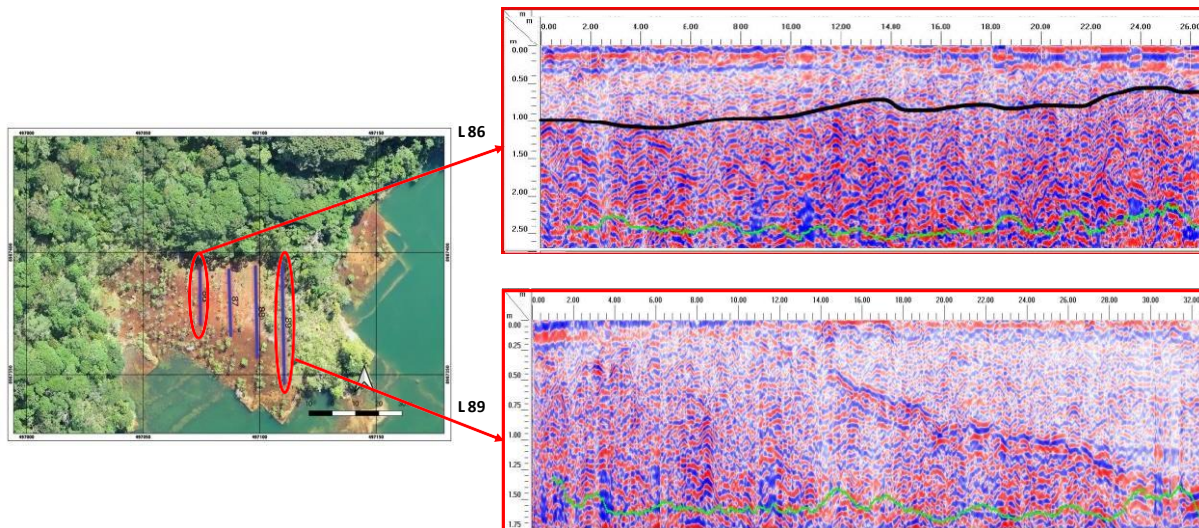


Figura 37 - Local da varredura com GPR na Serra da Onça. A linha verde representa o alcance do sinal e o contraste reflete a presença do alto teor de umidade no solo.

A **Linha 95** da mina Santa Maria, que representa uma área isolada, no meio de talhão com vegetação bem desenvolvida, mas que apresenta problemas de alagamento sazonal (**Figura 38**). Esse radargrama apresenta muitas hipérbolles, indicando refletorres espalhados ao longo do transecto, sendo o formato da hipérbole representa a máxima amplitude (máximo ou mínimo) depende da característica da área a ser rastreada. A umidade está mais homogeneamente distribuída ao longo de todo o perfil, o que reduziu o alcance do sinal, chegando apenas a 1,5m de profundidade. Como pode ser observada nos radargramas, a umidade está muito próxima da superfície.

As **Linhas 96-97** tratam da área localizada no talhão A10. No início do radargrama 96, na direção do lago, observa-se uma estratificação dos sedimentos em subsuperfície, tipo sinclinal inversa, com leve inclinação de 45°. Isso pode ter sido oriundo durante o processo de preenchimento da cava, mas também ocorre na borda do leito de paleocanais. É possível também observar a presença de dois níveis de alagamento, um mais superficial e outro que ocorre a cerca de 1m de profundidade. A extensão foi de 70m e com alcance do sinal entorno de 2m de profundidade.

Já na linha 97, que é o retorno ao lado da linha 96, em direção à mata; é possível observar a mesma estratificação e comportamento hidrológico, com destaque para sua parte final que destaca melhor a inclinação inicial que dá origem aos dois bolsões de umidade, um mais superficial e outro mais profundo. Entre eles existe um material provavelmente mais arenoso, com menor retenção de umidade.

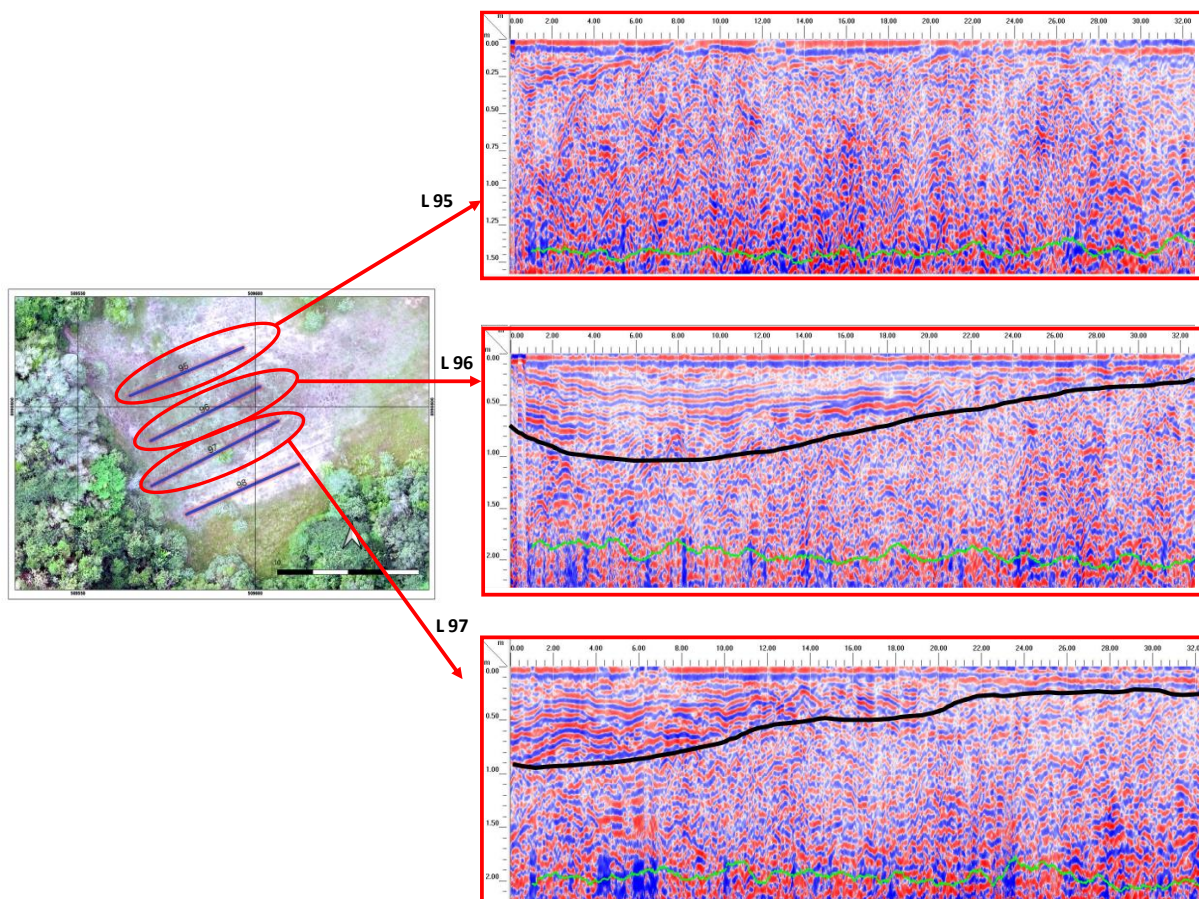


Figura 38 - Local da varredura com GPR na Santa Maria.

Na Mina de Potosí a varredura foi realizada na margem de um dos lagos existente nessa mina (**Figura 39**). Todos os radargramas apresentaram deposição de sedimentos com padrão fluvial. A Linha 107 apresenta uma camada com espessura variada entre 1,5 m e 2,5 m, de elevada umidade cm padrão de sedimentação fluvial, depositado acima de um substrato menos permeável e ondulado. Observa-se através da análise do radargrama, o acúmulo maior de umidade na superfície acima deste substrato em função de sua restrição à infiltração. A linha 109 apresentam o mesmo padrão, constituindo-se linhas de retorno complementar.

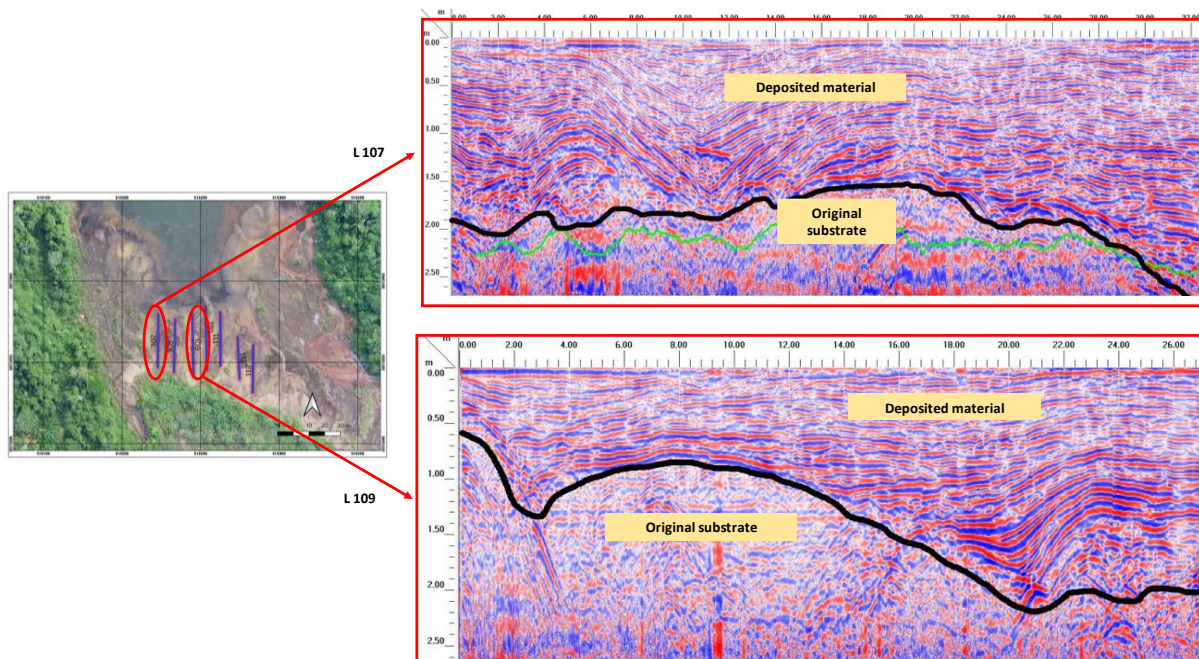


Figura 39 - Local de varredura com GPR na mina Potosí.

Já a Linha 114 da varredura realizada na mina 14 de Abril (**Figura 40**), apresentou um forte refletor, ocasionado pela presença de um bolsão de umidade no centro da área.

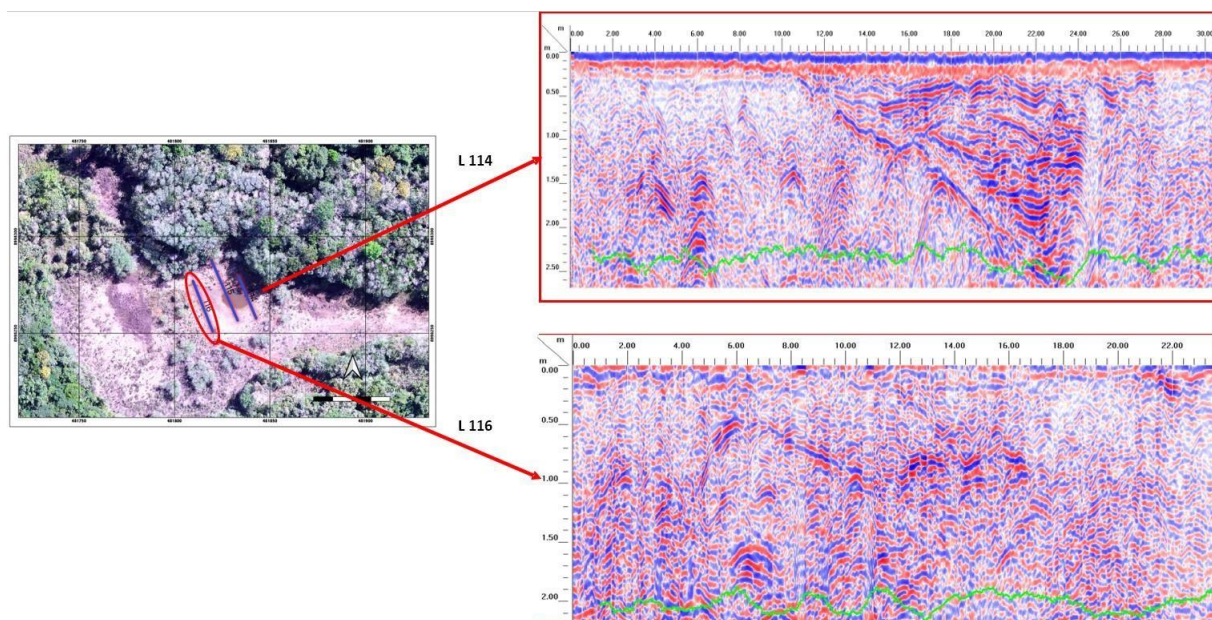


Figura 40. Radargrama das linhas de varredura 114 e 116 da mina 14 de Abril.

5.5.1 Umidade estimada pelos radargramas

De maneira geral, foi verificado que nas áreas onde foram realizadas as leituras com o GPR, trata-se de solos/sedimentos que apresentam elevada umidade em subsuperfície, com características de saturação. O topo destas camadas saturadas variou entre poucos centímetros da superfície, até 1,5 m de profundidade. O alcance do sinal emitido pela antena de 400 MHz ficou entorno de 2 m. A partir dos radargramas gerados, foram obtidos valores de constante dielétricas em diferentes profundidades, sempre priorizando uma leitura na camada mais seca e outra numa mais úmida. Os dados são apresentados na (**Tabela 11**). Quando comparados os valores entre os dados obtidos através da constante dielétrica e os valores oriundos dos sensores de umidade instalados nos sítios de monitoramento Serra da Onça e Santa Maria, podemos notar similaridades com a obtenção de valores próximos entre as distintas metodologias.

A umidade volumétrica média foi de $0,32 \text{ m}^{-3} \cdot \text{m}^{-3}$, com desvio padrão de $0,17 \text{ m}^{-3} \cdot \text{m}^{-3}$. A maior umidade foi encontrada na Linha 88, na mina Serra da Onça, a 2,03 m de profundidade, com $0,67 \text{ m}^{-3} \cdot \text{m}^{-3}$. Já o ponto com menor umidade foi na Linha 97, com 0,27 m de profundidade, na mina Santa Maria. Se considerar apenas os valores das camadas com maior umidade, a média sobe para $0,47 \text{ m}^{-3} \cdot \text{m}^{-3}$.

Tabela 11. Valores de constante dielétrica (K) e umidade volumétrica estimada

Ka	Profundidade	Umidade	Linha	Mina
	(m)	(m ⁻³ .m ⁻³)		
9,68	1,12	0,18	86	Serra da Onça
15,35	0,59	0,28	86	Serra da Onça
15,35	0,67	0,28	87	Serra da Onça
26,3	1,52	0,48	87	Serra da Onça
10,85	0,24	0,20	87	Serra da Onça
26,3	1,02	0,48	87	Serra da Onça
13,39	0,66	0,25	88	Serra da Onça
36,79	2,03	0,67	88	Serra da Onça
20,84	1,36	0,38	89	Serra da Onça
17,78	1,07	0,33	89	Serra da Onça
8,09	0,58	0,15	90	Serra da Onça
36,79	152	0,23	90	Serra da Onça
7,29	0,72	0,14	91	Santa Maria
34,91	1,02	0,64	91	Santa Maria
24,6	0,55	0,45	95	Santa Maria
23,33	1,52	0,43	95	Santa Maria
11,78	0,92	0,22	96	Santa Maria
26,3	1,77	0,48	96	Santa Maria
3,96	0,27	0,07	97	Santa Maria
11,78	1,33	0,22	97	Santa Maria
4,85	0,83	0,09	98	Santa Maria
17,78	1,09	0,33	98	Santa Maria
33,4	1,92	0,61	110	Potosí
18,3	2,04	0,34	108	Potosí
23,29	0,95	0,43	108	Potosí
5,73	0,37	0,11	116	14 de Abril
11,78	0,61	0,22	116	14 de Abril

K = Constante dielétrica obtida a partir do radargrama.

6. CONCLUSÕES

A atividade de mineração alterou parte da dinâmica superficial da hidrografia local ao longo de sua exploração, seja pela abertura de cavas que se transformaram em lagos, seja pelo barramento de igarapés. As áreas sujeitas a alagamentos sazonais totalizam 99,6 ha, o que corresponde a 19% da área total das minas. Destas, cerca de 50% têm contribuição da mina Potosí e 37% correspondem ao nível máximo de alagamento. Os resultados demonstram que a classe textural, a capacidade de drenagem, assim como o substrato predominante, influencia diretamente nas variações de temperatura e umidade do solo.

O uso do sensoriamento remoto para obtenção do índice NDWI, ao longo do período analisado, demonstrou que está ocorrendo evolução no processo de restauração florestal. A comparação entre os resultados apresentados pelo índice em diferentes datas no intervalo de quatro anos, se mostrou satisfatória para comparação da evolução dos processos de recuperação ambiental das áreas avaliadas.

Quanto a possível toxicidade de elementos químicos no solo, apenas o setor Potosí (área 01 e área 3) apresentaram valores de Pb acima do valor de prevenção.

O radar de penetração do solo – GPR se mostrou eficiente na relação entre substrato predominante e saturação do solo nas áreas impactadas pelos alagamentos, demonstrando a profundidade do lençol freático, assim como os bolsões de sedimentação oriundos da atividade minerária. As áreas sujeitas a alagamentos sazonais apresentaram tal situação em diferentes graus em todo o período estudado. Os radargramas demonstraram áreas saturadas em diferentes profundidades, mesmo no período de menor precipitação;

Nos sítios de monitoramento, as áreas apresentaram condição de saturação por água em cerca de 70% do período estudado, confirmando o ambiente impróprio para o desenvolvimento adequado para a maioria das plantas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, L.J.O.; PACHÊCO, A.; COSTA, T.C.C.; LOPES, O.F.; OLIVEIRA, M.A.J. RELAÇÕES EMPÍRICAS ENTRE A ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO E DADOS DO SENSOR TM/LANDSAT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.3, p.492-498, 2002.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. v. 22, p. 711-728, 2013.
- ANNAN, A. P., COSWAY, S. W.; REDMAN, J. D., Water table detection with ground penetrating radar. In: *International Congress of Society of Exploration Geophysical*, 61, 1991, Houston. Expanded Abstracts, Houston: SEG, p.494-496. 1991.
- BERES, M., HAENI, F. P. Application of ground penetrating radar methods in hidrogeologic studies. *Ground Water*, 29 (3): 375-386. 1991.
- BRENNER, V. C.; GUASSELLI, L. A. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS Brasil. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. Anais: INPE, 2015. p. 3693-3699.
- BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. *Restauração florestal*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 432 p.
- CARVALHO, F.A.; Nascimento, M.T.; Braga, J.M.A.; Rodrigues, P.J.F.P. Estrutura de fragmentos naturais de floresta atlântica periodicamente inundada. *Rodriguésia* 57 (3): 503-518. 2006
- CETESB. Métodos geofísicos Geofísica aplicada à detecção da contaminação do solo e das águas subterrâneas. Projeto CETESB – GTZ. 1999. 13p.
- CHAPIN, F. S.; MATSON, P. A.; MOONEY, H. A. *Principles of terrestrial Ecosystem ecology*. Nova York: Springer, 2002, 455 p.
- CRANE, J.H.; DAVIES, F.S. Periodic and seasonal flooding effects on survival, growth, and stomatal conductance of young Rabbiteye Blueberry plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, v.113, n.4, p.488-493, July 1988.
- DE MEDEIROS, J. D. F.; GOLDENFUM, J. A.; CLARKE, R. T. Variabilidade Espacial do Conteúdo de Água no Solo numa Pequena Bacia Rural: Análise da Estabilidade Temporal do Padrão Espacial do Conteúdo de Água no Solo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v.12 n.1, p.53-63, 2007.
- DE PAULA, G. R.; BATISTA, G.T.; TARGA, S. M.; SOUZA, F.C.; DIAS W.N.; DOS SANTOS, A. M. F Comportamento da umidade no solo por meio de sensores de resistência elétrica sob cobertura vegetal de eucalipto e de essências florestais nativas. In: *II SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, SERVIÇOS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE*, Taubaté, 2009. p. 157-164.

DI BALDASSARRE, G.; SCHUMANN, G.; BRANDIMARTE, L.; BATES, P. Timely low resolution SAR imagery to support floodplain modelling: a case study review. *Surv. Geophys.*, v. 32, n. 3, p. 255-269, 2011.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. M.; Coleman, D. C.; Bezdicek, D. F.; Stewart, B. A. (ed.). *Defining soil quality for a sustainable Environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. Special Publication, 35.

EMBRAPA. Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/unidade/index.php3?id=230&func=pesq>> Acessado em: 20 de janeiro de 2021.

ESPINDOLA, M. B. et al. Recuperação ambiental e contaminação biológica: aspectos ecológicos e legais. *Biotemas*. V. 18, n.1, p.27-38, 2005.

FERREIRA, H. S.; SILVA, B. Q.; ALBUQUERQUE, R. T. D. B. Utilização do sensoriamento remoto para análise de mudanças na dinâmica da paisagem da Foz do Rio São Francisco. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 05. 2011, Curitiba. Anais: INPE, 2011, p.4994-5001.

FRANCELINO, M.R.; LANI, J.L.; FIRME SÁ, M.M.; ARANHA, P.R.A.; VILARINHO, E.S. Estudo do lençol freático utilizando radar de penetração do solo. In: *XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. Natal, 2007. p. 305-311.

FRANCELINO, M.R.; CONDE, V.; THOMAZINI, A; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; VIANA, J. H. M.; SANTOS, F. C. . Determinação de atributos físicos de solos arenosos por meio de Georradar. *REVISTA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS (LISBOA)*, v. 44, p. 3-13, 2021.

FIGUEIREDO, S.M.F. COMPARAÇÃO ENTRE TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS LANDSAT NO MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM CAPIXABA, ACRE. 2005. 17P. Dissertação (Mestrado em Manejo Ambiental) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2005.

FOSCHINI, R. C.; RIBEIRO, C. A. G.; SALVADOR, N. N. B. Legislação ambiental sobre recuperação de áreas degradadas pela exploração de minérios e o uso do mecanismo da caução. *Anais do IV Congresso de Meio Ambiente da AUGM, São Carlos*, 2009.

GAO, B.-C. 1996. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 58: 257-266.

GASPARIM, E.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. *Acta Scientiarum Agronomy*. Maringá, v. 27, no. 1, p. 107-115, 2005

GRIFFITH, J. J. Recuperação conservacionista de superfícies mineradas: uma revisão de literatura. *Sociedade de Investigações Florestais, Viçosa-MG. Boletim Técnico n°2*, 1980. 51p.

GLIESSMAN, S. R. *Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRS, 2001. 563 p.

HARARI, Z. Ground-penetrating radar (GPR) for imaging stratigraphic features and groundwater in sand dunes. *Journal of Applied Geophysics*, 36: 43-52. 1996.

IBAMA. Mapeamento Temático da Pressão Antrópica da Floresta Nacional do Jamari. Brasília, 1990.

IBAMA. Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamari, RO. Brasília, 2005.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicação da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.7, p. 1493-1500, 2000.

JARDIM-LIMA, D., PIEDADE, M. T. F., QUEIROZ, H. D., NOVO, E. M. L. M. RENNO, C. D. A dinâmica do Pulso de inundação: aplicações de sensoriamento remoto na avaliação da área de águas abertas e morfologia dos lagos de várzea da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá-Amazônia Central. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia/INPE, p. 3069-3076, 2005.

JACKSON, M.B. & DREW, M.C. 1984. Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In: Kozlowski, T.T. (ed.), *Flooding and plant growth*. Academic Press, Orlando. 47-128p.

JONES, K.; LANTHIER, Y.; VAN DER VOET, P.; VAN VALKENGOED, E.; TAYLOR, D.; FERNÁNDEZ-PRIETO, D. Monitoring and assessment of wetlands using Earth Observation: The GlobWetland project. *J. Environ. Manage.*, v. 90, n. 7, p. 2154-2169, 2009.

JUNK, W. J.; MELLO, J. A. S. N.. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B.; OLIVEIRA, R. G. Biodiversidade e Restauração da floresta tropical. In: Kageyama, P. Y.; Oliveira, R. E.; Moraes, L. F. D.; Engel, V. L.; Gandara, F. B. (Org.). *Restauração ecológica de ecossistemas naturais*. Botucatu: FEPAF, 2003. p. 27-48.

KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; MINELLA, J.P.G.. Dielectric constant obtained from tdr and volumetric moisture of soils in Southern Brazil. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:649-658, 2010

KLEMAS, V. Remote sensing of floods and flood-prone areas: an overview. *J. Coastal Res.*, v. 31, n. 4, p. 1005-1013, 2014.

KLOTZSCHE, A., JONARD, F., LOOMS, M., VAN DER KRUK, J. AND HUISMAN, J. Measuring Soil Water Content with Ground Penetrating Radar: A Decade of Progress. *Vadose Zone Journal*, 17: 1-9 180052, 2018. <https://doi.org/10.2136/vzj2018.03.0052>

LONGO RM. Modificações em parâmetros físicos e químicos de Latossolos argilosos decorrentes da substituição da floresta amazônica e do cerrado por pastagens [tese]. Campinas: FEAGRI/Unicamp; 1999

LONGO, R. M; RIBEIRO, A. Í; MELO, W. J. DE; caracterização física e química de áreas mineradas pela extração de cassiterita. *Bragantia*, Campinas, v.64, n.1, p.101-107, 2005.

LOPES, A.S.; SILVA, H.P.; ARAUJO, I.R.; ALENCAR, B.P.B.; MELO, A.L. UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITES E DADOS METEOROLÓGICOS VISANDO O

MONITORAMENTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. IN: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, PE. 2010, P. 001-004.

MANIERI, J. M.; VAZ, C. M. P.; DE MARIA, I. C. Sonda espiral de TDR para a medida da umidade no perfil do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 2, 2007.

McFEETERS, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996.

MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; COLLI, S.; MÜLLER, C. 2002. Estudos sobre tolerância ao alagamento em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi. In: Medri, M. E.; Bianchini, E.; Shibatta, O. A. & Pimenta, J. A. (eds.). A bacia do rio Tibagi, Londrina. Pp. 133-172

NUNES, L.P.M.; Santos, J.S.; Silva, S.C.S.; Pimentel, M.A. Variação da temperatura do solo no leste da Amazônia. In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física. Campinas. 2017.

OLIVEIRA F. L. & MELLO E. F. A mineração de areia e os impactos ambientais na bacia do rio São João, RJ. Revista Brasileira de Geociências. v37(2):374-389, junho de 2007.

PADMANABAN, R.; BHOWMIK, A.K.; CABRAL, P. A Remote Sensing Approach to Environmental Monitoring in a Reclaimed Mine Area. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2017, 6, 401.

PAUL, K. I.; POLGLASE, P. J.; SMETHURST, P. J.; O' CONNELL, A. M.; CARLYLE, C. J.; KHANNA, P. K. Soil temperature under forests: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types.

PEREIRA, G. C., MORAIS, F. de, Índice NDWI e imagem SRTM aplicados ao mapeamento das áreas inundáveis do entorno da Lagoa da Confusão – TO, In: Territórios brasileiros: dinâmica, potencialidade e vulnerabilidades, p. 511 a 518.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 285p. 2001.

RAHMAN, M. S.; DI, L. The state of the art of spaceborne remote sensing in flood management. Nat. Hazards, v. 85, n. 2, p. 1223-1248, 2017.

RODRIGUES, H.J.B.; Sá, L.D.A.; RUIVO, M.L.P.; COSTA, A.C.L.; Silva, R.B.; MOURA, Q.L. & MELLO, I.F. 2011. Variabilidade quantitativa de população microbiana associada às condições microclimáticas observadas em solo de floresta tropical húmida. Revista Brasileira de Meteorologia, 26: 629-638.

RODRIGUES, T.J.D.; RODRIGUES, L.R.A.; REIS, R.A. Adaptação de plantas forrageiras às condições adversas. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 2., Jaboticabal, 1993. Anais... Jaboticabal: FUNEP, 1993. p.17-61.

RODRIGUES, R.R., GANDOLFI, S., NAVE, A.G. Adequação ambiental de propriedades rurais e recuperação de áreas degradadas. ESALQ/USP, 2005. 44p. (apostila).

RODRIGUES, W.B.; MORAIS, F. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) calculado para estações chuvosas e secas na bacia do Córrego Barreiro, Lagoa da Confusão – TO; In: Perez, F. e Amorim, R.R. oS Desafios da geografia física na fronteira do conhecimento. Campinas, 2017. P. 254-263.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. MONITORING VEGETATION SYSTEMS IN THE GREAT PLAINS WITH ERTS. IN: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE - 1- Symposium, 3, Washington, 1973. Proceedings. Washington: NASA, 1974, v.1, p.309 - 317, 1973.

SANTOS FILHO, H.; CORNERO, C.; PEREIRA, A.. Comparação ótica de NDWI e classificação não supervisionada com resultados de detecção automática de áreas úmidas: estudo de caso cidade de Macapá, Brasil. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.4, p. 40452-40468

SIQUEIRA, Rafael Gomes et al. USO DE SENSORES PROXIMAIS NA AVALIAÇÃO DE SEDIMENTOS DE REPRESA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA EM VIÇOSA-MG. Geo UERJ, [S.l.], n. 39, p. e42429, dez. 2021. ISSN 1981-9021. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/42429>>. Acesso em: 02 abr. 2022. doi:<https://doi.org/10.12957/geouerj.2021.42429>.

SILVA, L.M.; SILVA, B.Q. Análise espaço-temporal de áreas alagadas em Matupá -MT, utilizando sensoriamento remoto, lógica fuzzy e regressão linear. Anais 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Bonito, MS, 20-24 de outubro 2012, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 569 -579.

SOUZA, C.F.; PIRES, R.C.M.; MIRANDA, D.B.; VARALLO, A.C.T. Calibração de sondas fdr e tdr para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. Irriga, Botucatu, v. 18, n.4, p. 597-606, 2013.

TAVEIRA, A. L. S. Provisão de recursos financeiros para o fechamento em empreendimentos minerários. São Paulo: Escola Politécnica/USP, 2003. (Tese de doutorado em Engenharia Mineral).

TUCCI, C. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Editora UFRGS, Porto Alegre, 1993.

WILLIMAS, D.D., BUGIN, A., REIS, J.L.B.C. Manual de Recuperação de Áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, 1990. 96p.