

Uso de imagens obtidas com veículo aéreo não tripulado (VANT) para verificação do indicador de cobertura do solo no monitoramento da restauração florestal

Vinícius de Freitas Silgueiro ¹
Weslei Butturi ¹
Diego Antônio Ottonelli de Bona ¹
Eriberto Oliveira Muller ¹
Lucas Brasileiro Barreto ²
Gustavo Manzon Nunes ²

¹ Instituto Centro de Vida - ICV
Avenida Ariosto da Riva, 3473 - 78580-000 - Alta Floresta - MT, Brasil
{vinicius.silgueiro; weslei.butturi; diego.bona; eriberto.muller}@icv.org.br

² Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT
Faculdade de Engenharia Florestal - FENF
Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geotecnologias - LabSensorR
78060-900 - Cuiabá - MT, Brasil
{lucasbrbarreto; gustavomn}@gmail.com

Abstract. The discussions about forest restoration have gained strength in the variability of restoration implementation methodologies and also in the monitoring allied to the new technologies. Considering that monitoring should be carried out independently of the selected restoration method, it is necessary to define indicators that can be used universally to evaluate the proposed objectives. The land cover presents a great potential to be raised by remote sensing. In this joint work, ICV and LabSensorR evaluated the potential of images obtained by UAVs to verify the indicator of land cover by woody species. The studied areas are located in a rural property in the municipality of Alta Floresta. The data were acquired using the DJI Phantom 4 platform, which allowed to obtain images with 4.5 centimeters of spatial resolution. The object-based image analysis (OBIA) was used to represent the land use and cover and was done using eCognition Developer software. The areas and percentages occupied by each class in each of the three restoration areas analyzed were calculated. The area 02 was the one that presented the greatest coverage by woody vegetation, with 94% of the coverage of the area as a whole. Areas 01 and 03 presented cover for woody vegetation, with 63.5% and 64.2%, respectively. The present work demonstrates the possibility of effecting the monitoring of the areas in forest restoration using images obtained by UAVs. In addition, this method had the advantage of enabling the indicator to be accurately verified for the whole area under restoration.

Palavras-chave: unmanned aerial vehicle, land cover indicator, forest restoration monitoring, veículo aéreo não tripulado, indicador de cobertura do solo, monitoramento da restauração florestal.

1. Introdução

A restauração florestal é um tema que tem ganhado ênfase no âmbito federal, estadual, municipal e entre os proprietários rurais, especialmente após a aprovação da Lei 12.651 de 25 de maio de 2012, o “Novo Código Florestal”. As discussões têm ganhado força na variabilidade de metodologias de implantação do restauro e também nas formas de monitoramento dessas áreas aliadas às novas tecnologias disponíveis.

De acordo com Rodrigues et al. (2009), a restauração florestal tem apresentado uma rápida expansão no Brasil, sendo acompanhada de uma constante revisão dos métodos de restauração utilizados. Assim, tem passado de reflorestamentos com espécies arbóreas, as vezes até exóticas, para plantios com alta diversidade de espécies exclusivamente nativas regionais, incluindo também formas de ampliar o potencial de auto recuperação da área a ser restaurada.

De forma geral, com a inscrição no Cadastro Ambiental Rural (CAR), instrumento implantado pelo novo Código Florestal para regularização ambiental dos imóveis rurais em todo território nacional, o proprietário, possuidor ou ocupante conhecerá a quantidade e

distribuição dos passivos ambientais associados às áreas de preservação permanente (APPs) e áreas de reserva legal (ARL) de seu imóvel rural. Nas APPs degradadas, a condução da regeneração natural e/ou recomposição da vegetação nativa é obrigatória, e para as ARLs são admitidas, além da regeneração e recomposição, também a compensação através das Cotas de Reserva Ambiental (CRA). Para dar sequência a sua regularização ambiental por meio da regeneração ou recomposição, após ter seu CAR validado pelo órgão ambiental competente, o proprietário, possuidor ou ocupante do imóvel rural deve elaborar e executar o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas e/ou Alteradas (PRADA).

O monitoramento das áreas sob PRADA é um trabalho complexo, onde muitas vezes são selecionados um grande número de variáveis a serem analisadas para determinar que os processos ecológicos estão evoluindo e que a área está sendo restaurada de fato. Ou há casos em que os esforços são muito concentrados em monitorar os compromissos firmados no Termo de Ajuste de Conduta (TAC) ou Termo de Compromisso (TC) associado a esse PRADA, e pouco no monitoramento da restauração em si.

Segundo Brancalion (2012), é justamente a necessidade de se repensar a restauração a todo instante que torna o monitoramento uma das etapas essenciais de todo processo de restauração ecológica, pois permite a análise contínua de como a área degradada está reagindo aos tratamentos que lhe são impostos.

Sobretudo, considerando que o monitoramento deve ser realizado independentemente do método de restauração selecionado, torna-se necessária a definição de indicadores que possam ser utilizados universalmente para avaliação dos objetivos propostos. Conforme Durigan (2011), os indicadores de avaliação e monitoramento devem ser variáveis perfeitamente identificáveis, de fácil compreensão, fáceis de medir e que representem verdadeiramente o que se quer avaliar, expressando claramente a situação em cada estágio da restauração.

Nesse contexto, algumas regiões brasileiras já definiram os seus próprios métodos de monitoramento e indicadores de avaliação, como é o caso do Estado de São Paulo, que com a Resolução SMA N° 32 de 03 de abril de 2014, estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado.

No Estado de Mato Grosso, a restauração florestal tem ocorrido por meio de iniciativas da sociedade em geral e poder público local. O Instituto Centro de Vida (ICV), ao longo de seus recém completados 25 anos de história, têm testado juntamente com parceiros diferentes técnicas de implantação e monitoramento da restauração florestal (HOFFMANN, 2015; SILGUEIRO et al., 2015).

O ICV e outras instituições tem contribuído com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA) na definição dos indicadores de avaliação e monitoramento dos PRADAs em Mato Grosso. Em reuniões e discussões realizadas, amparadas em vasto referencial bibliográfico, experiências de campo e nas normativas de outros estados, os indicadores pré-definidos são a cobertura do solo, riqueza e densidade de espécies nativas.

Melo & Durigan (2007) ressaltam que é importante escolher indicadores que facilitem a execução da avaliação, tanto na obtenção dos dados quanto na sua interpretação, e sugerem a cobertura do solo por espécies lenhosas como um indicador do desenvolvimento estrutural de florestas em restauração.

Para o levantamento em campo da cobertura de solo por espécies lenhosas um dos métodos amostrais mais utilizados é da interseção em linhas. Para sua execução, não é necessária mais que uma trena e os cálculos para a estimativa são simples, sendo o resultado expresso por meio do percentual de área coberta por vegetação lenhosa (MELO et al., 2010).

Entretanto, a cobertura do solo apresenta um grande potencial para ser verificada via sensoriamento remoto, uma vez que a resposta espectral da cobertura florestal é característica de destaque em imagens aéreas obtidas com sensores diversos. Evidentemente que os dados levantados devem ser compatíveis com o nível de detalhe exigido para a mensuração desse

indicador, considerando inclusive o próprio tamanho das áreas em restauração, que geralmente são pequenas.

Diante desse cenário, o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) apresenta-se como uma alternativa de destaque para o monitoramento de áreas em restauração florestal. Isso porque comportam o acoplamento de sensores de altíssima resolução espacial e um baixo custo operacional, possibilitando a obtenção de imagens que permitem o mapeamento detalhado e progressivo da restauração de áreas degradadas e/ou alteradas (CÂNDIDO et al., 2015).

O Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geotecnologias (LabSensor) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) tem realizado pesquisas a partir de dados obtidos com uso de VANTs em regiões do Pantanal Mato-grossense (VIEIRA et al., 2015) e plantios florestais (NUNES et al., 2014).

Nesse trabalho conjunto entre o ICV e o LabSensor, buscou-se avaliar o potencial de utilização de produtos de imagens obtidas por VANT para verificação do indicador de cobertura do solo por espécies lenhosas no monitoramento de áreas em restauração florestal.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

As áreas estudadas estão localizadas em uma propriedade rural distante 15 quilômetros do perímetro urbano do município de Alta Floresta, norte do Estado de Mato Grosso (Figura 1).

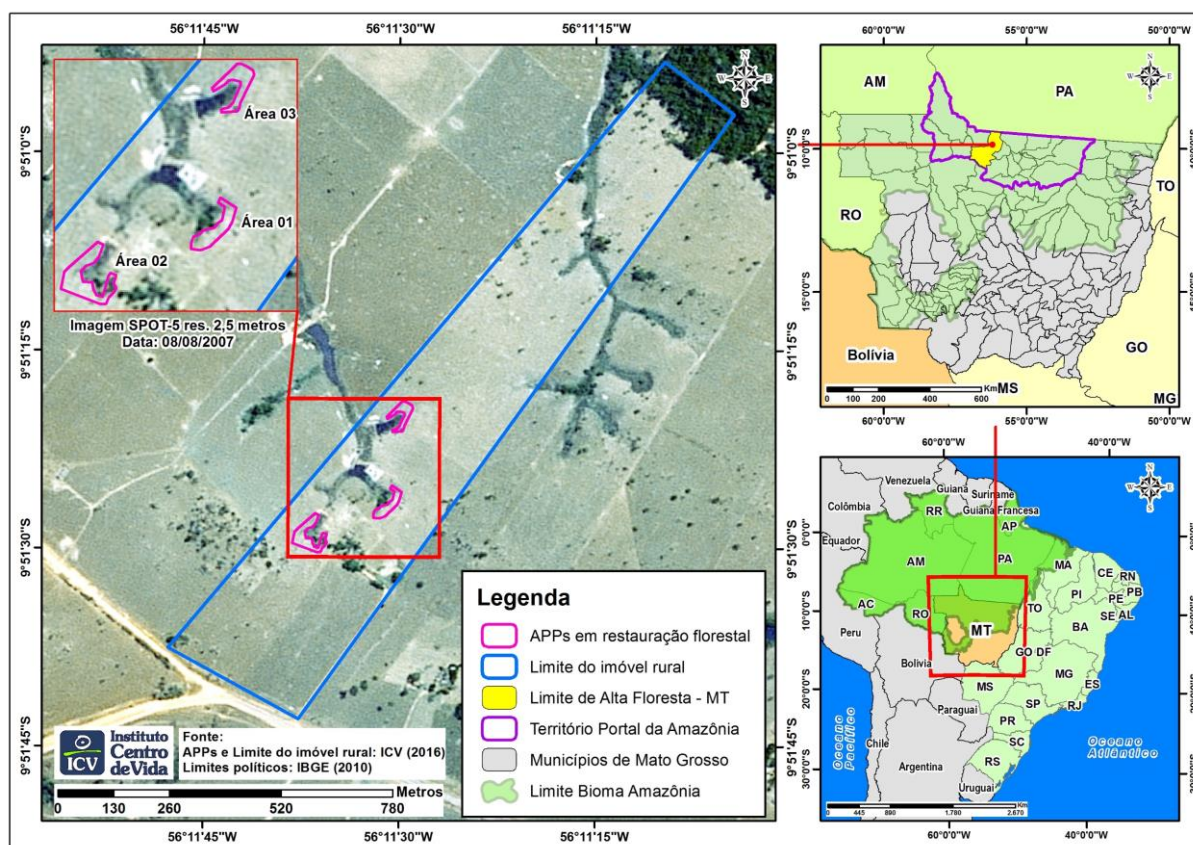


Figura 1. Localização da área de estudo em Alta Floresta, Mato Grosso.

Nessa região, foi criado pelo programa Territórios da Cidadania, o Território Portal da Amazônia (TPA), composto por 17 municípios que apresentam características econômicas, ambientais, sociais e geográficas similares. O clima na região é do tipo Equatorial classificado como *Am*, conforme a classificação de Köppen, com precipitação média de 2.500 mm/ano. A

região está inserida no bioma Amazônia e possui como tipologia vegetal predominante a Floresta Ombrófila Aberta.

As áreas de restauração florestal analisadas foram implantadas pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Alta Floresta (SECMA) em parceria com o proprietário do imóvel rural. No ano de 2011, a SECMA deu início ao projeto apoiado pelo Fundo Amazônia denominado Olhos d'Água da Amazônia. Através deste projeto foi possível a realização de ações de restauração florestal em mais de 5 mil hectares de APPs degradadas em todo município. Os imóveis rurais parceiros do projeto tiveram seu CAR e PRADA elaborados e em execução pela SECMA (RODRIGUES, 2016).

As áreas objeto de estudo possuem dimensões distintas e também tiveram sua restauração florestal iniciada em anos diferentes. A área 01 com 0,17 hectares teve início no ano de 2011, a área 02 com 0,29 hectares em 2012 e a área 03 de 0,16 hectares em 2013 (Figura 2).

As técnicas adotadas para restauração foram a semeadura direta e o plantio de mudas. Foram utilizadas sementes e mudas de aproximadamente 30 espécies arbóreas nativas, como paricá, ipê rosa, cedro rosa, seringueira, ingá e espécies frutíferas. Também foram plantadas sementes de espécies com a função de adubação verde e recobrimento da área, como feijão guandu, feijão de porco e crotalária (RODRIGUES, 2016).



Figura 2. APPs em restauração florestal representadas em fotografia obtida com VANT em julho de 2016.

2.2 Aquisição e Processamento dos Dados

Os dados foram adquiridos no mês de julho de 2016 com uso da plataforma *DJI Phantom 4*, um VANT multirrotor dotado de uma câmera digital RGB de 12 megapixels. A área total levantada foi de 41 hectares a uma altura de voo equivalente a 80 metros, com sobreposição longitudinal de 60 % e lateral de 95 %, o que possibilitou a obtenção de imagens com a altíssima resolução espacial de 4,5 centímetros (Figura 3, A). Para o processamento, aerotriangulação das imagens e geração do ortomosaico foi utilizado o software *Pix4D*.

Para auxiliar o processamento dos dados, principalmente a etapa de ortorretificação, foram coletados em campo pontos de controle com uso de um receptor *GNSS* de dupla frequência. Os pontos foram coletados sobre alvos metálicos pintados em preto e branco depositados e distribuídos sobre a superfície do terreno, sendo possível identifica-los nas imagens.

De posse do ortomosaico, foi realizada a classificação orientada a objetos (*object-based image analysis - OBIA*) para representar o uso e cobertura do solo. Para isso foi utilizado o software *eCognition Developer*. Na classificação orientada a objetos, os objetos da imagem são

grupos de pixels semelhantes uns aos outros com base numa medida de propriedades espectrais, isto é, cor, tamanho, forma e textura, bem como o contexto da vizinhança que rodeia os pixels (BURNETT & BLASCHKE, 2003).

O primeiro passo para a classificação orientada a objetos é a segmentação da imagem, que consiste na transformação das informações digitais (pixels) em grupos de objetos homogêneos entre si (Figura 3, B). A segmentação foi realizada pelo algoritmo *multiresolution segmentation* onde foram utilizados os parâmetros escala 30, cor/forma 0.1/0.9 e compacidade/suavidade 0.5/0.5. Este algoritmo foi desenvolvido visando extrair objetos homogêneos com base no valor do pixel e na forma, permitindo a extração de objetos primitivos da imagem, em qualquer resolução escolhida levando em consideração contrastes locais (BAATZ & SCHÄPE, 2000).

Após a criação dos objetos da imagem utilizou-se o algoritmo classificador do “vizinho mais próximo” (*nearest neighbor object-based classification*). Esta técnica de classificação supervisionada permite selecionar amostras (objetos) para cada classe de cobertura do solo, bem como a seleção dos descritores a serem analisados pelo algoritmo. Com isso buscou-se representar as seguintes classes de uso e cobertura do solo encontradas no imóvel rural estudado: afloramentos rochosos, água, infraestrutura, pastagem, plantio de cana de açúcar, solo exposto, sombra, vegetação rasteira/campo úmido e vegetação lenhosa (Figura 3, C).

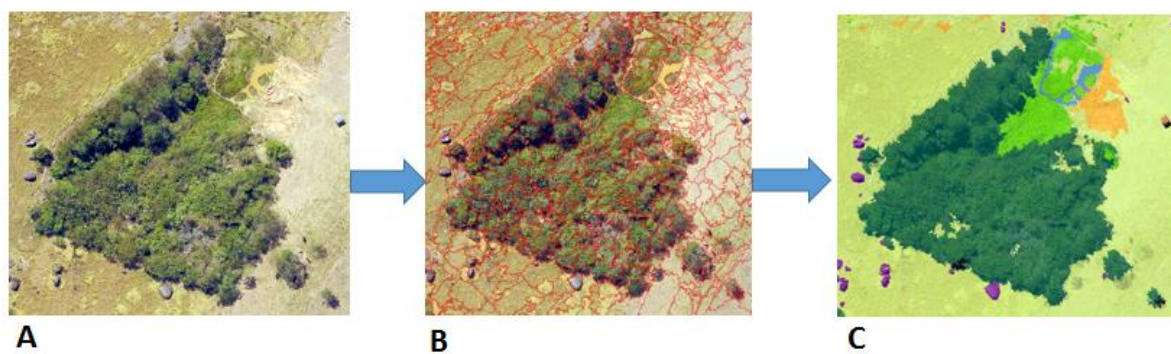


Figura 3. Etapas do processamento dos dados: ortomosaico (RGB) (A), segmentação (B) e classificação (C).

2.2 Pós Processamento e Verificação do Indicador de Cobertura do Solo

Após o processamento dos dados e obtenção da classificação de uso e cobertura do solo, a classificação foi convertida para o formato vetorial e editada no software *ArcGIS* 10.4. Nessa edição, em escala 1:250 ou superior, buscou-se corrigir erros de omissão e comissão vindos do processo automatizado de classificação. Foi adotada interpretação visual sobre o próprio ortomosaico obtido, bem como o histórico, informações e fotografias de campo para dirimir dúvidas e melhor representar as classes.

Para a verificação do indicador de cobertura do solo para as áreas em restauração, inicialmente foi realizado o cruzamento do vetor da classificação de uso e cobertura de toda a propriedade com os vetores que definem os limites das áreas em restauração. A partir disso, foram calculadas as áreas, em metros quadrados (m²), e os percentuais representativos de cada classe em cada uma das três áreas em restauração analisadas. Dessa forma, foi encontrado o percentual de cobertura do solo por vegetação lenhosa das áreas em restauração florestal, organizando os resultados em tabelas e mapas.

3. Resultados e Discussão

O ortomosaico e classificação de uso e cobertura gerados apresentaram escala final de 1:1.000 ou superior. A análise da cobertura do solo indicou para cada uma das três áreas em restauração o percentual de cobertura por vegetação lenhosa, bem como por vegetação rasteira, solo exposto, pastagem e afloramentos rochosos (Tabela 1).

Tabela 1. Área em m² e percentual das classes de cobertura do solo para as três áreas em estudo.

Cobertura do solo	Área 01		Área 02		Área 03	
	Área (m ²)	%	Área (m ²)	%	Área (m ²)	%
Afloramentos rochosos	4.4		0.0		0.0	
Pastagem	591.7	35.1	161.5	5.6	519.1	32.9
Sombra	0.0		4.8	0.2	0.0	
Solo exposto	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	0.6
Vegetação rasteira	23.8	1.4	5.6	0.2	36.2	2.3
Vegetação lenhosa	1069.8	63.5	2713.6	94.0	1012.8	64.2
TOTAL	1685.2	100.0	2885.5	100	1577.9	100

A área 02, implantada no ano de 2012, foi a que apresentou a maior cobertura por vegetação lenhosa, com 2.713,6 m², que representa 94% da cobertura da área como um todo. As áreas 01 e 03 apresentaram percentuais de cobertura por vegetação lenhosa bastante semelhantes, com 63,5% e 64,2%, respectivamente.

Aplicando os valores intermediários de referência para o indicador de cobertura do solo adotados no Estado de São Paulo (Tabela 2), a área 02 se classifica como nível adequado, estando com cobertura acima de 80% em uma idade de 4 anos. Já as áreas 01 e 03 classificam-se como nível mínimo, estando com percentual de cobertura entre 30 e 80% e 15 e 80%, respectivamente.

Tabela 2. Valores intermediários de referência para monitoramento da restauração ecológica em regiões de floresta ombrófila. Adaptado de Resolução SMA/SP N° 32.

Indicador	Cobertura do solo c/ vegetação nativa (%)			
	Nível de adequação	Crítico	Mínimo	Adequado
Valores intermediários de referência	3 anos	0 a 15	15 a 80	Acima de 80
	5 anos	0 a 30	30 a 80	Acima de 80
	10 anos	0 a 50	50 a 80	Acima de 80
	15 anos	0 a 70	70 a 80	Acima de 80

A área 02, enquadrada como nível adequado, indica que foram atingidos os valores determinados dentro do prazo previsto. No caso das áreas 01 e 03, classificadas como nível mínimo, apresentam-se dentro da margem de tolerância para o prazo determinado e cumprindo as exigências mínimas, porém com valores abaixo do esperado, o que sinaliza para a necessidade da realização de ações corretivas de forma a não comprometer os resultados no futuro (SMA, 2014).

De acordo com Melo et al. (2010) a cobertura do solo por espécies lenhosas possui relação direta com a qualidade, quantidade e distribuição da luz na área, condiciona o micro-habitat interno da floresta, interfere no crescimento e sobrevivência de plântulas, e afeta processos de oxidação da matéria orgânica. Além disso, a rápida promoção da cobertura do solo é fundamental para o controle de gramíneas indesejáveis e a interceptação da água das chuvas nas copas possibilita a estabilização do solo.

Os resultados encontrados podem ser complementados pelo levantamento de informações em campo, visando uma maior compreensão das causas do sucesso ou insucesso da restauração. Além disso, os indicadores de riqueza e densidade de espécies nativas, que não foram objetos desta análise, necessitam do levantamento em campo para sua verificação.

No entanto, a avaliação do indicador de cobertura do solo por espécies lenhosas com uso dos produtos de imagens obtidas por VANT apresentou a vantagem de possibilitar a verificação do indicador para a área como um todo, e não somente de uma amostra de parte da área para

posterior extrapolação dos resultados. Essa vantagem vem de encontro com as premissas da adoção de indicadores, que são a diminuição da subjetividade do processo de monitoramento, o seu caráter integrativo e a possibilidade de fornecer uma resposta conjunta sobre o que está ocorrendo na área em restauração (DURIGAN, 2011).

A partir do monitoramento e da avaliação dos indicadores, realizado ao longo do tempo, pode-se confirmar o restabelecimento dos processos ecológicos nas áreas em processo de restauração, o que contribui com o planejamento e definições das futuras estratégias de restauro (RODRIGUES et al., 2009).

A metodologia utilizada apresentou potencial para ser testada também com uso de imagens orbitais de alta resolução espacial, no caso de promover a verificação do indicador em larga escala. Nesse sentido, também se configura a possibilidade de realizar correlações e validações com outros produtos de imagens orbitais.

O ortomosaico e classificação de uso e cobertura obtidos apresentaram-se como valiosos insumos não somente para o planejamento e monitoramento da restauração florestal, mas também para o planejamento e manejo das atividades produtivas do imóvel rural (Figura 4).

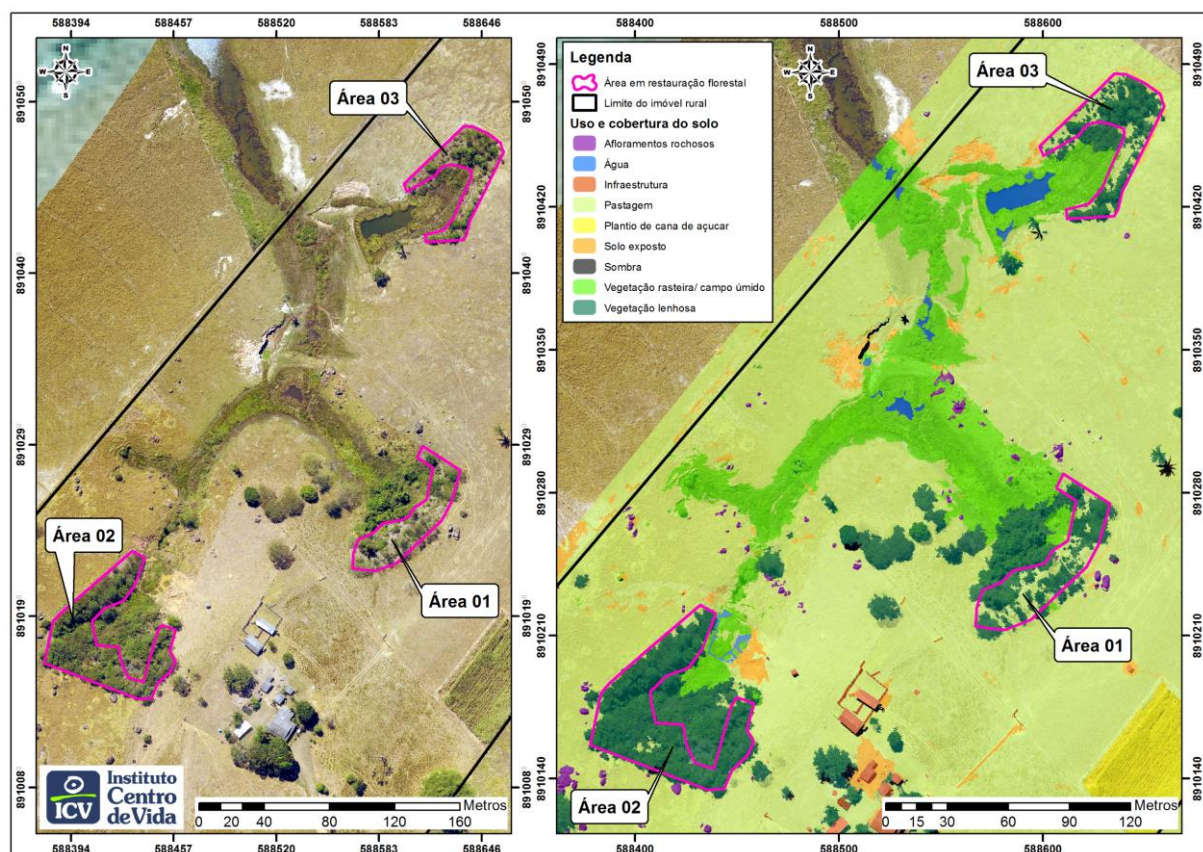


Figura 4. Ortomosaico e classificação do uso e cobertura do solo nas áreas em restauração florestal.

4. Conclusões

O presente trabalho demonstra a possibilidade de efetivar o monitoramento das áreas em restauração florestal com uso de dados obtidos por VANTs, possibilitando a geração de mapeamentos em escala de 1:1.000 ou superior.

A avaliação do indicador de cobertura do solo por espécies lenhosas se mostrou factível a partir da classificação orientada a objetos e análise do percentual de cobertura do solo das áreas em restauração. Ademais, o método apresentou a vantagem de possibilitar a verificação do indicador de forma precisa para a área como um todo.

Referências Bibliográficas

- Baatz, M.; Schäpe, A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multiscale image segmentation. In: *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*, Heidelberg, **Anais...** Salzburg: Wichmann-Verlag, p. 12-23, 2000. Disponível em: <http://www.ecognition.cc/download/baatz_schaepe.pdf>. Acesso em: 13.nov.2016.
- Brancalion, P. H. S.; Viani, R. A. G.; Rodrigues, R. R.; Gandolfi, S. Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: Martins, S.V. (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**, v. 1, Viçosa: UFV, p. 262-293, 2012.
- Burnett, C.; Blaschke, T. A multi-scale segmentation/object relationship modelling methodology for landscape analysis. **Ecological Modelling**, n. 168, p. 233-249, 2003.
- Cândido, A. K. A. A.; Silva, N. M.; Paranhos Filho, A. C. Imagens de alta resolução espacial de veículos aéreos não tripulados (VANT) no planejamento do uso e ocupação do solo. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**. v. 38, p. 147-156, 2015.
- Durigan, G. O uso de indicadores para monitoramento de áreas em recuperação. **Cadernos Mata Ciliar**, São Paulo, n. 4, p. 11-13, 2011.
- Hoffmann, M. R. M. **Restauração florestal mecanizada: semeadura direta sobre palhada**. Instituto Centro de Vida (ICV), Alta Floresta, MT. 27p. 2015. Disponível em: http://www.icv.org.br/wp-content/uploads/2015/11/Restauracao_florestal_novembro2015.pdf>. Acesso em: 19.out.2016.
- Melo, A.C.G.; Durigan, G. Evolução estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no Médio Vale do Paranapanema. **Scientia Florestalis**, n. 73, p. 101-111, 2007.
- Melo, A.C.G.; Reis, C.M.; Resende, R.U. Guia para Monitoramento de Reflorestamentos para Restauração. **Circular Técnica 1 Projetos Mata Ciliar**, São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente, n. 1, 10 p. 2010.
- Nunes, G. M.; Vieira, D. J. E.; Carvalho, S. P. C. Avaliação preliminar de dados obtidos por VANT em talhão florestal clonal de *Eucalyptus urograndis* H13 no estado de Mato Grosso. In: XI Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados à Engenharia Florestal, Curitiba. **Anais...** Paraná, PR: XI SenGeF, 2014, p. 211-218.
- Rodrigues, J. A. **Relatório Executivo Projeto Olhos D'água da Amazônia - Fase II**. (Org.) Alta Floresta, 148 p. 2016.
- Rodrigues, R. R.; Brancalion, P. H. S.; Isernhagen, I. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009.
- Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo. Resolução SMA N° 32, de 03 de abril de 2014. Estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo, e dá outras providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, SP, 05 de abril de 2014.
- Silgueiro, V. F.; Butturi, W.; Mendonça, R. A. M.; Oliveira, P. E. P. Uso do balão para imageamento de alta resolução a baixo custo: aplicação para o monitoramento de áreas de restauração florestal. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa, PB, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 4017-4024. Online. ISBN: 978-85-17-0076-8. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0796.pdf>>. Acesso em: 19.out.2016.
- Vieira, D. J. E.; Nunes, G. M.; Fernandes, A. T. Utilização de ortomosaico com dados do infravermelho próximo adquirido por VANT no mapeamento de fitofisionomias em área do Pantanal Norte de Mato Grosso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa, PB, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 5201-5208. Online. ISBN: 978-85-17-0076-8. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1024.pdf>>. Acesso em: 14.nov.2016.