



# A Fotointerpretação como Ferramenta na Gestão de Problemas Geotécnicos no Contexto de Passivos Ambientais Rodoviários

Amanda Christine Gallucci Silva

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, amandagallucci82@gmail.com

Larissa Milena Pinto Parra

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, larissamilenap@gmail.com

Cristhyano Cavali da Luz

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, crisccluz@hotmail.com

Larissa De Brum Passini

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, larissapassini@hotmail.com

**RESUMO:** Os avanços tecnológicos nos setores de processamento de imagens, tanto as imagens de sensoriamento remoto, por meio de satélites, quanto às imagens de fotogrametria, por meio da utilização de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) permitiram a utilização da informação espacial em diversas áreas da engenharia. A engenharia geotécnica é uma destas áreas com grande potencial de aplicação, tanto no que diz respeito a temas de geotecnia ambiental, quanto no mapeamento de áreas, monitoramento de taludes e contenções, escavações e demais obras em geral. Uma das vantagens na utilização da fotointerpretação ocorre no contexto de inspeções e levantamento de dados, anteriormente à ida em campo e posteriormente. As imagens podem auxiliar em diversas atividades, como: no diagnóstico em campo, na classificação e cadastramento dos passivos e na realização de anteprojetos de recuperação, devido a obtenção de dimensões, com certa precisão. Desse modo, o presente estudo apresenta exemplos da funcionalidade das imagens de sensoriamento remoto e fotogrametria no levantamento e diagnóstico de passivos ambientais ao longo das rodovias brasileiras. Com base num banco de dados de passivos ambientais de uma rodovia federal, foram selecionadas três ocorrências de passivos para o estudo de caso em questão, uma envolvendo escorregamento rotacional, uma corrida de detritos e a última envolvendo processos erosivos. Desse modo, foi possível difundir e contextualizar os benefícios do uso das tecnologias de fotointerpretação, em especial no que se refere a problemas socioambientais no ramo da geotecnia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento Remoto, Fotogrametria, Movimento de Massa, Processos Erosivos

## 1 INTRODUÇÃO

Em meio ao crescimento exponencial econômico ao qual a sociedade está atualmente condicionada, há a necessidade de atentarem-se

as questões sócio-ambientais, visando o desenvolvimento sustentável do planeta. A abordagem das medidas de responsabilidade sócio-ambiental vem crescendo num contexto internacional, paralelamente as legislações que



regulamentam e respaldam questões que envolvem impactos ambientais, consequência das interações entre as estruturas civis e o meio ambiente (Silva *et al*, 2018).

No contexto de regulamentações, os órgãos ambientais atuam como gestor da qualidade ambiental e dos riscos, principalmente por meio da Avaliação de Impactos Ambientais – AIA.

Dos impactos ambientais que um empreendimento rodoviário pode gerar em relação ao meio físico, em abas as fases (planejamento, construção, operação e desativação), alguns são passíveis de ações mitigadoras por meio de remediação.

Quando os impactos ambientais não são remediados, são caracterizados como débitos para com a sociedade e com o meio ambiente. Desse modo, de acordo com Sánchez (2015), conceitua-se por passivos ambientais os danos acumulados que devem ser reparados, a fim de que seja mantida a qualidade ambiental de um determinado local.

Dentre os passivos ambientais que se encontram ao longo das rodovias federais, muitos são passíveis de remediação por meio de obras de engenharia, principalmente no ramo da geotecnia. Como por exemplo, em um estudo, Silva *et al* (2018) aponta que, numa amostra de 332 passivos ambientais cadastrados em trechos de rodovias federais não concessionados, aproximadamente 60% foram referentes a problemas geotécnicos como, por exemplo, movimentos de massa e erosão.

Desse modo, é necessário caracterizar de forma precisa a feição do passivo para que a medida de recuperação adotada atue nas causas de seu surgimento, e, assim, não venha recorrer o problema. Uma tecnologia amplamente utilizada como ferramenta para a caracterização, é a fotointerpretação por meio de imagens de sensoriamento remoto e/ou fotogrametria.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A fotointerpretação através de produtos gerados por sensoriamento remoto, como supracitado, não é novidade para a área da Geotecnia e na engenharia como um todo.

No artigo "Análise Fisiográfica, a partir de técnicas de fotointerpretação, aplicada ao mapeamento geológico-geotécnico de obras rodoviárias", Coelho (2016) aponta que a utilização de produtos advindos de sensoriamento remoto é de extrema utilidade para estudos de planejamentos de obras rodoviárias, sendo muito favoráveis devido ao fato de permitir a obtenção de informações sobre o meio físico, em grandes áreas, com custo relativamente baixo.

Através da fotointerpretação é possível - a partir de produtos de sensoriamento remoto, dados coletados em campo e cartas topográficas - analisar alinhamentos de drenagem e relevo fundamentando assim o estudo das deformações rúpteis e dúcteis (Coelho, 2016). Ao longo dos últimos anos, além da utilização de sensoriamento remoto, o emprego de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) e levantamentos aerofotogramétricos vem se popularizando e se destacando, devido a qualidade dos produtos finais gerados. Entretanto, essa tecnologia ainda é pouco explorada nas áreas da Geotecnia e da Geologia de Engenharia (Gramani, 2018).

No artigo "O Uso de Drone Multirrotor de Pequeno Porte para Diagnóstico e Monitoramento de acidentes Geológico", foi possível verificar a possibilidade de geração de produtos cartográficos e dados do meio físico a partir da utilização de um drone de pequeno porte, destacando como vantagem a possibilidade de obter-se dados de forma rápida, como áreas afetadas, volumes mobilizados e tipologia de materiais envolvidos no processo, que podem auxiliar na tomada de decisões e no planejamento de ações e obras para mitigação dos problemas (Gramani, 2018).



### 3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o trabalho em questão consiste em apresentar o levantamento e cadastramento de passivos ambientais com a utilização de ferramentas de fotointerpretação, como por exemplo, fotogrametria e imagens de sensoriamento remoto.

Os dados utilizados para o estudo em questão foram obtidos com base num banco de dados de passivos ambientais cadastrados para elaboração de Relatórios de Controle Ambiental (RCAs). A metodologia utilizada para as atividades de campo compreendeu na inspeção visual ao longo dos trechos rodoviários, com veículo automotor a velocidade aproximada de 60 km/h, em ambos os sentidos de uma rodovia federal.

Com base no banco de dados, foram selecionados três casos, sendo dois no estado de Minas Gerais (MG) e um no estado do Rio Grande do Sul (RS). Em todos os casos se julgou necessário à utilização de imagens aéreas para melhor interpretação do problema.

Os dados de fotogrametria e imagens de sensoriamento remoto foram obtidos por meio de Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) e por meio do *software* Google Earth Pro, respectivamente.

As RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) são a subcategoria de aeronaves não tripuladas, pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota e utilizada para qualquer outro fim que não seja o recreativo e que seja capaz de interagir com o Controle de Tráfego Aéreo e outras aeronaves em tempo real (DECEA, 2019).

As Imagens de alta resolução espacial coletadas por RPAs têm demonstrado potencial para monitoramento de variáveis ambientais. (Gómez-candón *et al.*, 2014). A ampla utilização desse tipo de aeronave também se dá devido às vantagens técnicas e econômicas do equipamento, sendo também de fácil adaptação às necessidades de cada projeto (Morgan et al.,

2010).

#### 3.1 Sensoriamento remoto

As imagens para a fotointerpretação, no primeiro caso (no estado de Minas Gerais), foram obtidas por meio de Sensoriamento Remoto. O Sensoriamento Remoto trata da tecnologia de aquisição de imagens através da captação e registro da energia refletida ou emitida pela superfície terrestre. Essa tecnologia permite a obtenção de informações dos objetos que compõem o território sem a necessidade de contato direto com os mesmos (Moraes, 2002 e Florenzano, 2007).

Os sensores são instalados em plataformas orbitais e possuem suas características relacionadas à resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal. Para a avaliação dos passivos ambientais que integram esse projeto, as principais características de interesse do sensor são a resolução espacial e resolução temporal (Moraes, 2002).

A resolução espacial representa a capacidade do sensor distinguir objetos, ou seja, ela indica o tamanho do menor elemento da superfície individualizado pelo sensor (Moraes, 2002). A resolução temporal aborda a frequência com que a superfície terrestre é observada ou imageada (Rudorff, 2012).

A obtenção das imagens provenientes do Sensoriamento Remoto para o caso estudado ocorreu através do *software* Google Earth Pro. As imagens aéreas provenientes do Google Earth geralmente são compostas por um mosaico de várias imagens, nas quais a data pode mudar conforme você move o cursor pelo mapa (Lopes, 2012). A fonte dos dados para a área de estudo é a Digital Globe, cujas imagens são provenientes dos satélites Quickbird (60 cm), Geo Eye-1 (50 cm), IKONOS (1 m), World View-2 e 3 (50 cm).



### 3.2 Fotogrametria

Para os casos 2 (no estado do Rio Grande do Sul) e 3 (no estado de Minas Gerais) foram utilizadas para análises imagens provenientes de fotogrametria. A fotogrametria é uma das áreas que estuda a obtenção de informações sobre a superfície da Terra por meio de registro, medição interpretação e representação de dados espaciais (ISPRS - *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*).

As RPAs têm sido amplamente utilizadas na fotogrametria para a geração de ortomosaicos e Modelos Digitais de Elevação (MDE), que subsidiam as análises geoespaciais. A ortofoto, ortoimagem ou ortomosaico é uma representação fotográfica em projeção ortogonal do terreno, na qual foram corrigidas as variações de relevo e da inclinação da aeronave, resultando em uma fotografia com escala constante (Santos, 2000).

O MDE, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é o modelo digital que representa as altitudes da superfície topográfica agregada aos elementos geográficos existentes sobre ela, como cobertura vegetal e edificações.

Atualmente é possível realizar a geração automatizada destes produtos, através do uso de rotinas preestabelecidas disponíveis em programas especializados na manipulação das imagens obtidas pelas RPAs (Sopchaki et al., 2018).

Em campo, as imagens foram obtidas através do voo realizado e seguindo um plano de voo, no qual foram especificadas as sobreposições, altura de voo e área de recobrimento. A execução do voo ocorreu em modo automático, mas não autônomo, tendo em vista que o operador pode intervir a qualquer momento através do controle remoto.

As imagens obtidas foram processadas no *software* Agisoft Photoscan tendo os seguintes resultados: ortofoto e MDE da área de estudo.

Enquanto uma ortofoto foi utilizada no caso 2 (no estado do Rio Grande do Sul), para o caso 3 (no estado de Minas Gerais), foi gerado um modelo 3D obtido através da densificação de nuvem de pontos. E, em sequência, transformando esta em uma superfície tridimensional que representa o terreno, ou seja, um MDE.

## 4 RESULTADOS

Os estudos de caso que contextualizam a importância da fotointerpretação para diagnóstico e prognóstico de passivos ambientais, em especial os que demandam obras de engenharia geotécnica para a recuperação, são aqui apresentados e discutidos.

### 4.1 Primeiro caso - MG

O talude, localizado em uma rodovia federal no estado de Minas Gerais, apresentava uma estrutura de gabião de aproximadamente 3 metros de altura instalados no “pé” e não apresentava cobertura superficial e também, aparentemente, não apresentava sistema de drenagem. Com base no levantamento em campo, em janeiro de 2018, foi observado: a ocorrência de processos erosivos e movimentação de massa neste talude (Figura 1).



Figura 1. Talude no estado de Minas Gerais com indícios de movimento de massa (janeiro de 2018).

Fonte: UFPR/ITTI, 2018.





Em escritório, por meio das imagens de satélite, foi possível observar a formação da cunha de ruptura ao longo do tempo. Com base na análise visual da imagem aérea do ano de 2017 (Figura 2), foi possível observar uma pequena cicatriz de formação da superfície de ruptura, caracterizando um movimento de massa gravitacional de escorregamento rotacional.



Figura 2. Imagem de sensoriamento remoto (outubro de 2017) – Talude no estado de Minas Gerais.  
Fonte: Google Earth.

O escorregamento rotacional é caracterizado por apresentar a superfície de ruptura curvada e o movimento circular em torno de um eixo paralelo ao contorno do talude.

Highland e Bobrowsky (2008) definem escorregamento rotacional como sendo um tipo de deslizamento em que a superfície da ruptura é curvada no sentido superior (em forma de colher) e o movimento da queda de barreira é relativamente rotatório em torno de um eixo paralelo ao contorno do talude.

O movimento ocorre devido as forças

atuantes superarem as forças resistentes do maciço, ou seja, as forças resistentes ao cisalhamento. O fato pode ser consequência de diversos fatores, mas em geral, a saturação do talude proporciona diminuição da tensão efetiva e também da sucção, fazendo com que se diminua a resistência ao cisalhamento do solo.

Desse modo, a interpretação concisa da feição do passivo ambiental auxilia para que a intervenção ocorra de modo que se atue nas causas originárias do problema, bem como os melhores métodos de contenção para esse tipo de movimento de massa.

Utilizando ainda a ferramenta cronológica do Google Earth, percebe-se que em 2018 a evolução da cicatriz, tanto em espessura e profundidade, quanto na abrangência (Figura 3).



Figura 3. Imagem de sensoriamento remoto (agosto de 2018) – Talude no estado de Minas Gerais.  
Fonte: Google Earth.

A imagem de sensoriamento remoto de 2017 é do mês de outubro e a imagem de



sensoriamento remoto de 2018 refere-se ao mês de agosto. Ou seja, o registro em inspeção em campo (janeiro de 2018) ocorreu três meses depois do primeiro registro (outubro de 2017) de sensoriamento remoto e sete meses antes do segundo registro (agosto 2018).

Desse modo, observa-se que o problema em questão encontrava-se em evolução e necessitava de intervenção.

Nesse caso, assim como em demais semelhantes, a fotointerpretação pode atuar como ferramenta de auxílio em duas vertentes: na pré-inspeção, como base para um prévio conhecimento do que será encontrado em campo, ou como pós-inspeção, para auxílio no diagnóstico e caracterização conclusiva da feição do passivo.

#### 4.2 Segundo caso - RS

Outro exemplo do emprego da fotointerpretação como ferramenta de auxílio no diagnóstico da feição de um passivo ambiental, foi selecionado no estado do Rio Grande do Sul (Figura 4). Verifica-se a base de uma encosta com uma região que foi suprimida a vegetação, devido a um movimento de massa pretérito.



Figura 4. Corrida em encosta no estado do Rio Grande do Sul (novembro de 2017). Fonte: UFPR/ITTI, 2018.

Nesse caso, foi realizado um imageamento aéreo (Figura 5), por meio de RPA, e, através dele, foi possível perceber que a origem do solo

deslocado, a qual foi uma região mais acima da encosta. Desse modo, o movimento de massa foi caracterizado como corrida. Os fluxos ou corridas são movimentos similares ao escoamento de líquidos viscosos que geralmente movem-se ao longo da drenagem das encostas. Diferentemente dos outros movimentos de massa gravitacionais, as corridas são necessariamente relacionadas aos eventos hidrológicos e podem ser compostas por materiais sólidos de tamanhos variados (Nery, 2016).

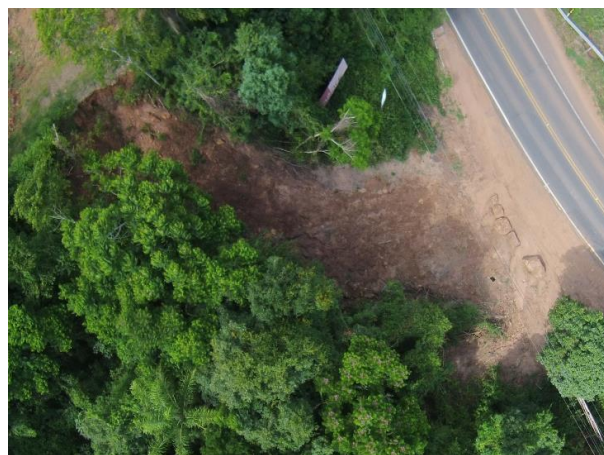


Figura 5. Imageamento de fotogrametria (novembro de 2017). Fonte: UFPR/ITTI, 2018.

Por meio da fotointerpretação, foi possível perceber que há um talude com inclinação acentuada e que necessita ser conformado e estabilizado. Para assim, em eventos chuvosos, não venha a ocorrer mais movimentação de terra. Também foi possível obter uma ideia do volume de terra que deve ser retirado e também da área que deve ser recuperada a vegetação.

#### 4.3 Terceiro caso - MG

No terceiro caso selecionado (no estado de Minas Gerais), foi possível evidenciar processos erosivo em estágios avançados (Figura 6), em consequência do corte do talude, da falta de proteção superficial e da falta de sistema de drenagem.





Figura 6. Talude de corte com indícios de processos erosivos no estado de Minas Gerais (janeiro de 2018).  
Fonte: UFPR/ITTI, 2018.

A evolução da erosão causou um desconfinamento do material e, conseqüentemente, desmoronamento de porções do solo. As porções que desmoronaram caíram sobre o sistema de drenagem da rodovia, fazendo com que esse não pere em perfeitas condições.

Desse modo, há uma tendência de evolução dos processos, podendo ocasionar mais danos à rodovia e também proporcionando riscos aos usuários. Justificando-se assim a urgência de intervenção.

Foi realizado o imageamento aéreo por meio de fotogrametria. As fotogrametrias foram processadas em um *software* aerofotogramétrico, a fim de se obter um modelo de superfície tridimensional (Figura 7). Desse modo, mostrou-se mais uma utilização das imagens aéreas no contexto gestão de passivos ambientais.

A partir do modelo 3D, foi possível não só realizar a fotointerpretação, mas também obter dimensões e estimativas de áreas e volumes, pois a modelagem tridimensional também proporciona noções de profundidade, como pode ser observado na Figura 8.

As informações obtidas podem ser utilizadas para auxílio em anteprojetos de engenharia geotécnica e, desse modo, definir a melhor alternativa de recuperação do problema geotécnico.



Figura 7. Modelo 3D de talude de corte no estado de Minas Gerais. Fonte: UFPR/ITTI, 2018.



Figura 8. Exemplo de obtenção de medidas por meio de modelo 3D de talude de corte no estado de Minas Gerais. Fonte: UFPR/ITTI, 2018.



## 5 DISCUSSÕES

O auxílio da fotointerpretação no diagnóstico dos passivos ambientais apresentados nesse trabalho em questão, foi conclusivo para caracterização do problema e investigação das causas.

É possível perceber, nos três casos apresentados, problemas relacionados com a drenagem da água, proteção superficial e geometrias inadequadas. Desse modo, os problemas são relacionados com o surgimento dos passivos.

As tecnologias utilizadas para realização da fotointerpretação se destacaram no em relação à resolução espacial, devido às grandes alturas atingidas e a boa resolução das imagens.

Desse modo, torna-se viável a obtenção de informações sobre o meio físico em grandes áreas, com custo relativamente baixo, em um menor intervalo de tempo.

Comparando a tecnologia da fotogrametria em relação ao imageamento por sensoriamento remoto, essa proporciona imagens de melhor resolução e pode ser manipulada com maior liberdade, a fim de obter uma análise mais específica para cada caso.

Além disso, permite a visão tridimensional do terreno, por meio da criação de um modelo tridimensional (3D).

Em suas limitações, a fotointerpretação por através de imagens de fotogrametria necessita de um RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) para registro das imagens e ortoreferenciamento. Desse modo, necessita de considerável investimento financeiro.

Em contra partida, as imagens de sensoriamento remoto, por mais que tenham uma resolução inferior, são disponibilizadas pela plataforma online ou Google Earth de forma gratuita. E, como vantagem adicional, permitem uma análise temporal por meio da análise de dados de imageamentos anteriores. Assim, é possível identificar evolução de

processos, tendo em vista determinar urgências relativas de intervenção.

## 6 CONCLUSÕES

Conclui-se que, em tempos de um crescimento econômico ascentuado, é necessário atentar-se sobre as questões de responsabilidade socioambiental, bem como sobre as tecnologias que possam a vir auxiliar em diversos processos.

Os empreendimentos rodoviários causam impactos significativos ao meio físico e sócio-econômico no qual está inserido e, desses impactos, os que se caracterizam como débitos a serem recuperados ou compensados, são conhecidos como passivos ambientais.

Desse modo, o estudo em questão visou explorar a fotogrametria como uma ferramenta tecnológica para o auxílio de recuperação de passivos ambientais, com foco em problemas que demandam obras da engenharia geotécnica, visando a melhor precisão no diagnóstico e prognóstico do problema.

## AGRADECIMENTOS

O estudo questão tornou-se viável devido a disponibilização do banco de dados e financiamento do Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura (ITTI) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

## REFERÊNCIAS

- Sopchaki, Carlos Henrique et al. (2018). *Verificação da qualidade de Ortomosaicos Produzidos a Partir de Imagens Obtidas com Aeronave Remotamente Pilotada sem o Uso de Pontos de Apoio*. Raega-O Espaço Geográfico em Análise, v. 43, p. 200-214.
- Cruz, C.B.M. et al. (2011). *Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR*. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Curitiba: INPE, v.





- 2011, p. 5463.
- Roberto, A.J. (2013). *Extração de Informação Geográfica a partir de Fotografias Aéreas obtidas com VANTs para apoio a um SIG Municipal*. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Departamento de de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Universidade do Porto, 108p.
- Santos, D.R. et al. (2000). *Aplicação de Câmaras Digitais na produção de Ortofotocarta*. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis, 9 p.
- Rudorff, B.F.T. (2012). *Produtos de sensoriamento remoto. Divisão de Sensoriamento Remoto*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos-SP.
- Florenzano, T.G. (2007). *Iniciação em sensoriamento remoto*. Oficina de textos, 228 p.
- Lopes, E.E. (2012). *Proposta metodológica para validação de imagens de alta resolução do Google Earth para a produção de mapas*. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 112 p.
- Gramani, M. F., Cavallieri, C. P., de Souza Silva, A. P., da Costa Mantovani, J., & Carou, C. B. (2018). O Uso de Drone Multirrotor de Pequeno Porte para Diagnóstico e Monitoramento de Acidentes Geológicos. COBRAMSEG, ABMS, Bahia.
- Coelho, J.O.M.; Zaine, J.E.; Rodrigues, F.H. (2016). Análise Fisiográfica, a partir de Técnicas de Fotointerpretação, Aplicada ao Mapeamento Geológico-Geotécnico de Obras Rodoviárias. Revista Brasileira de Cartografia, v. 68, n. 10.
- Gómez-Candón, D., De Castro, A., & López-Granados, F. (2014) *Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat*. Precision Agriculture, 15(1), 44-56.
- Highland, L. M; Bobrowsky, P. (2008). *O Manual de Deslizamento: Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos*. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- Morgan, J.L.; Gergel, S.E. & Coops, N.C. 2010. *Aerial photography: a rapidly evolving tool for ecological management*. BioScience, 60(1): 47-59.
- Nery, T. D. (2016). *Dinâmica das corridas de detritos no Litoral Norte de São Paulo*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- Decea (2019). *Aeronaves não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro*. ICA 100/40. Brasília.
- Moraes, E.C. (2002). Capítulo 1: Fundamentos de Sensoriamento Remoto. INPE, 2002, 23p.
- Sánchez, L. E. (2015). *Avaliação de impacto ambiental*. Oficina de Textos, 495 p.
- Silva, A. C. G., Zonta, J. T., Luz, C. C., Passini, L. B. (2018). *Caracterização dos Passivos Ambientais Rodoviários Geotécnicos Encontrados ao Longo da Faixa de Domínio da BR-116 de Acordo com a Localização Geográfica*. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano - COBRAMSEG 2018.