Detecção de alvos forenses com tomografia elétrica no Sítio Controlado da Universidade de Brasília (Foren/FAL/UnB)

Ana Clara de Araujo Sousa, Luciano Soares da Cunha, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília (IG/UnB)

Copyright 2024, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IX Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 08 a 10 de outubro de 2024. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do X SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

A pesquisa visa localizar sepulturas clandestinas e monitorar a decomposição de material orgânico. Realizada na Fazenda Água Limpa (UnB), o estudo utilizou tomografia elétrica para determinar a posição de objetos enterrados em sepulturas simuladas (SEP's) a 0,50 e 0,90 metros de profundidade. Utilizando um eletrorresistivímetro, foram obtidas medidas de resistividade elétrica em perfis longitudinais e transversais. As variações de resistividade indicaram a presença de alvos enterrados, com alguns falsos-positivos. Conclui-se que a identificação foi parcial, recomendando-se o uso de outras ferramentas geofísicas e métodos forenses para melhorar a precisão.

Introdução

Nas últimas duas décadas, a aplicação da geofísica forense em investigações criminais aumentou significativamente, com destaque para o uso do Ground Penetrating Radar (GPR) e da resistividade elétrica na localização de sepulturas clandestinas e no monitoramento da decomposição de material orgânico (Wisniewski et al., 2019; Abate et al., 2019; Büyüksaraç et al., 2013; Doro et al., 2022; Castro, 2021). Pesquisas em sítios controlados têm aprimorado a compreensão das respostas geofísicas em diversos cenários de sepultamento (Powell et al., 2010; Pringle et al., 2012; Cavalcanti et al., 2017). Estudos mostraram que sepulturas clandestinas causam anomalias na resistividade elétrica do solo (Molina et al., 2020). Carcaças de porcos, por exemplo, geraram anomalias de baixa resistividade devido ao necrochorume, enquanto um envoltório de plástico resultou em alta resistividade (Pringle et al., 2012). A produção de anomalias de baixa resistividade pode aumentar ao longo de anos (Pringle et al., 2010). Métodos geofísicos rasos são úteis para localizar esses alvos, investigando áreas extensas rapidamente e direcionando escavações forenses, o que minimiza o tempo e a área investigada (Pringle et al., 2008; Cavalcanti et al., 2018; Obrocki et al., 2019; Doro et al., 2022). Este estudo teve como objetivo determinar a posição de alvos enterrados pela variação da resistividade elétrica nas Sepulturas Experimentais (SEP's) da Fazenda Água Limpa, na Universidade de Brasília (FOREN/FAL/UnB).

Metodologia/ Problema Investigado

O Sítio Controlado de Geofísica Forense (FOREN) foi estabelecido em uma área de 100 metros quadrados na Fazenda Experimental Água Limpa (FAL/UnB), localizada a 25 km de Brasília-DF, abrangendo 4.500 hectares. Este espaço serve como um centro de pesquisa multidisciplinar, incluindo Agronomia, Engenharia Florestal e Geociências. A topografia da área é plana com um leve declive de sudoeste (SW) para nordeste (NE), e o solo é predominantemente de latossolo vermelho. O clima da região, classificado como savana tropical e temperado chuvoso com inverno seco, possui duas estações bem definidas: uma estação chuvosa de outubro a abril e uma estação seca de maio a setembro. A vegetação original foi parcialmente removida, restando arbustos, árvores de porte médio e gramíneas do Bioma Cerrado. Em julho de 2021, foram criadas quatro inumações experimentais no sítio controlado. As sepulturas foram escavadas com pás e retroescavadeiras, orientadas de noroeste-sudeste (NW-SE) e nordeste-sudoeste (NE-SW). Os suínos utilizados como alvos, fornecidos pela Hartos Agropecuária Cenci, foram enterrados a profundidades de 0,50 m ou 0,90 m, com o focinho apontado para noroeste e a barriga virada para sudoeste. As condições controladas do sítio permitem a análise detalhada das respostas geofísicas em diversos cenários de sepultamento, contribuindo para o aprimoramento das técnicas de localização de sepulturas clandestinas e monitoramento da decomposição de material orgânico no subsolo. A topografia suavemente inclinada e o clima com estações distintas influenciam as investigações, oferecendo um ambiente representativo do Bioma Cerrado. A pesquisa conduzida no FOREN visa melhorar a compreensão das respostas geofísicas e das influências de diferentes condições de sepultamento, com o objetivo de avançar nas metodologias de investigação forense.

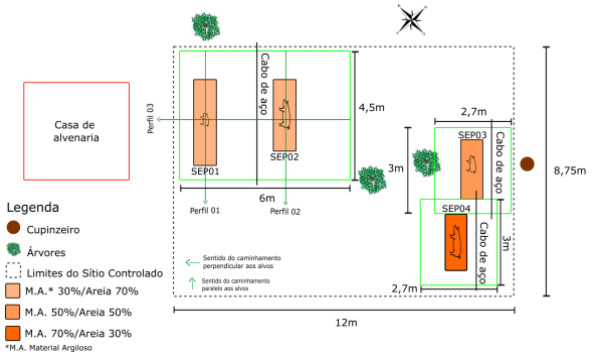

Figura 01 – Croqui da área do sítio controlado com a disposição das sepulturas experimentais indicando a composição do

preenchimento das SEP's e o esquema de aquisição de dados GPR (Castro, 2021modificado).

Os dados foram adquiridos utilizando a técnica de tomografia elétrica com o eletrorresistivímetro SuperSting R8 (AGI Inc), empregando o arranjo de eletrodos Dipolo-dipolo com 20 níveis, 28 eletrodos, espaçados a cada 1 metro e corrente elétrica de 2A. Os levantamentos ocorreram durante o período de estiagem em julho de 2023. Os perfis 01 e 02 foram posicionados longitudinalmente na parte central das sepulturas experimentais SEP 01 e SEP 02, respectivamente, para maximizar a cobertura dos alvos com os eletrodos. O perfil 03 foi disposto transversalmente às SEP 01 e SEP 02, cruzando os centros dos alvos com um único perfil geofísico. O processamento dos dados seguiu várias etapas metodológicas. Inicialmente, os dados foram transferidos do equipamento utilizando o software SSAdim (AGI Instruments), que incluía informações sobre a posição dos eletrodos, resistência de contato solo-eletrodo, valores de tensão, corrente elétrica, resistividade aparente e configuração dos eletrodos. Uma filtragem inicial foi realizada para remover dados de resistividade elétrica com baixa relação sinal/ruído, baseada na avaliação da variação dos parâmetros de resistência de contato e desvio padrão. Os dados foram então convertidos do formato .stg para .dat para padronização. A inversão regularizada dos dados foi realizada utilizando a técnica dos mínimos quadrados suavizados (norma L2) com o software Res2Dinv v.4.08 (Geotomo), empregando larguras de célula de metade do espaçamento entre eletrodos. Não houve realce específico de estruturas verticais ou horizontais, mantendo a neutralidade na representação, com um fator de amortecimento inicial definido em 0,15. Esse processo metodológico criterioso garantiu um processamento sistemático e resultou em dados representativos e úteis para análises subsequentes.

Resultados

As figuras 3.1 a 3.3 mostram as seções resultantes da inversão dos dados de campo, representando a resistividade elétrica. Os erros RMS para os perfis 01, 02 e 03 foram de 15,1%, 11,9% e 12,3%, respectivamente.

A Figura 3.1a exibe a tomografia elétrica invertida do Perfil 01, feito longitudinalmente na SEP 01. Áreas de alta resistividade elétrica (>2.500 Ohm.m) estão associadas à camada superficial do latossolo com baixa umidade, exceto entre 7,0m e 9,0m, onde há vegetação mais preservada. Na SEP 01, foram observados valores mais baixos de resistividade elétrica (<1.000 Ohm.m) comparados aos arredores. O alvo é identificado por uma região de baixa resistividade elétrica (<600 Ohm.m) entre 15m e 16m, a uma profundidade de 0,70m. A zona mais resistiva (>2.500 Ohm.m) logo abaixo do alvo, a partir de 1,80m de profundidade, pode ser devido a camadas de material granular e manta geotêxtil colocadas na base da sepultura para conter necrochorume, tornando essa região menos permeável e mais resistiva.

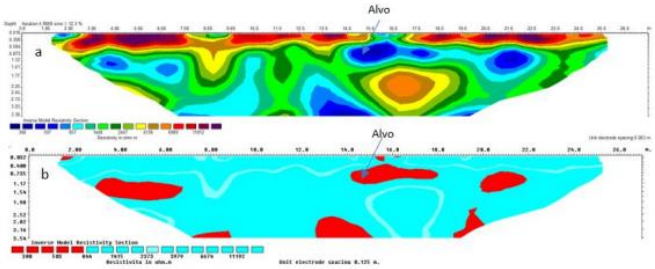

Figura 3.1 – a) Seção de resistividade elétrica invertida do Perfil 01 realizada de forma longitudinal ao maior comprimento do alvo na SEP 01. Os valores mais elevados de resistividade elétrica estão associados à parte superficial do solo com umidade desprezível. O alvo está identificado por uma região de baixos valores de resistividade elétrica na posição entre 15m e 16m e com profundidade central de 0,70m. b) Seção de resistividade elétrica invertida do Perfil 01, mas com uma escala de cor para os valores de resistividade elétrica que realça o alvo da SEP 01. Outras regiões ao longo dessa seção também foram realçadas e que não correspondem ao alvo de interesse.

A Figura 3.2a apresenta a tomografia elétrica invertida do Perfil 02, conduzido longitudinalmente na SEP 02. Áreas de alta resistividade elétrica (>2.500 Ohm.m) correspondem à camada superficial do latossolo com umidade muito baixa. Na SEP 02, há acúmulo de sedimentos argilosos devido à erosão do latossolo, resultante da convergência do fluxo superficial. O alvo é identificado por uma região de resistividade elétrica intermediária (aproximadamente 1500 Ohm.m) na posição de 16m, a uma profundidade de 1,0m. Áreas de baixa resistividade elétrica também aparecem em 6,0m e 9,5m, mas são menores comparadas às áreas abaixo do alvo. A modificação na escala de cores da Figura 3.2b não realça o alvo, embora outras áreas de baixa resistividade sejam destacadas.

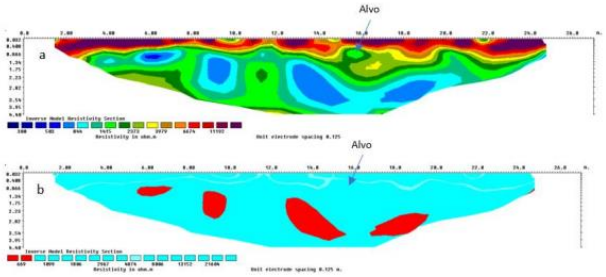

Figura 3.2 – a) Seção de tomografia elétrica invertida do Perfil 02. Os valores mais elevados de resistividade elétrica estão associados à parte superficial do solo com umidade muito baixa. O alvo está identificado por uma região de valores intermediários de resistividade elétrica na posição 16m e com profundidade central de 1,0m. b) Seção de resistividade elétrica invertida do Perfil 02 com a mesma escala de cor utilizada na Figura 3.1b. Nessa escala de cores, o alvo não está realçado apesar de algumas regiões da seção estarem destacadas.

A Figura 3.3a mostra a tomografia elétrica invertida do Perfil 03, conduzido transversalmente às SEP 01 e SEP 02. Áreas de alta resistividade elétrica (>2500 Ohm.m) estão associadas à camada superficial do solo com baixa umidade. Entre 7,0m e 9,0m, uma região de baixa resistividade elétrica está associada a um formigueiro

subterrâneo, indicando solo desagregado e poroso (aproximadamente 1500 Ohm.m). Os alvos não são individualmente identificados, mas aparecem como uma região de baixa resistividade elétrica (<600 Ohm.m), cobrindo suas posições e profundidades de instalação. O alvo 1 está na posição 14,0m, a uma profundidade de 0,50m, e o alvo 2 está em 15,5m, a uma profundidade de 0,90m.

A Figura 3.3b, com a mesma escala de cores da Figura 3.1b, mostra que a área que cobre os alvos 1 e 2 é visível, mas a uma profundidade maior do que a real. Outras duas regiões são destacadas, mas não correspondem aos alvos de interesse.

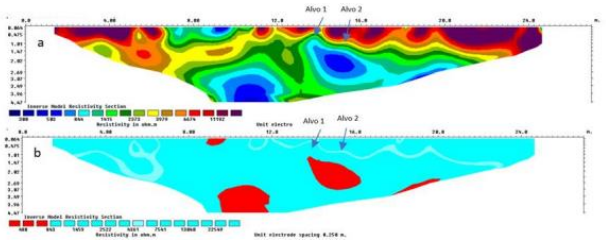

Figura 3.3 – a) Seção de tomografia elétrica invertida do Perfil 03. Os valores de resistividade elétrica estão associados à parte superficial do solo com uma umidade muito baixa. A região entre 7,0m e 9,0m apresenta baixos valores de resistividade elétrica que estão associados a presença de um formigueiro subterrâneo apresentando características de um solo desagregado e poroso. Os alvos não são identificados individualmente, mas somente por uma região de baixa resistividade elétrica que engloba suas posições e profundidades de instalação. b) Seção de resistividade elétrica invertida do Perfil 03 com uma escala de cor utilizada na Figura 3.1b. A região que engloba os alvos 1 e 2 é perceptível, mas em uma profundidade maior do que a profundidade de instalação dos alvos. Outras duas regiões são destacadas, mas não correspondem aos alvos de interesse.

Discussão e Conclusões

A identificação de alvos forenses em experimentos controlados com métodos elétricos é menos desafiadora comparada aos métodos geofísicos aplicados em situações reais. Manipular variáveis como dimensões e tipo do alvo, profundidade de enterramento e composição da camada de cobertura é crucial para uma análise precisa. A umidade do solo, correlacionada com a evapotranspiração, é outra variável essencial, pois pode gerar falsos-positivos. A variação na porosidade e permeabilidade do latossolo resulta em regiões de diferentes níveis de umidade, visível nos Perfis 01, 02 e 03, onde a camada de solo seco varia em espessura.

Nos Perfis 01 e 02, a camada de solo seco varia de 0,5m a 1,3m, enquanto no Perfil 03 ela atinge cerca de 3,0m nas porções iniciais e finais. Observa-se que as maiores espessuras de solo seco coincidem com a presença de vegetação, indicando que áreas de campo sujo mais conservadas apresentam maior evapotranspiração. A cobertura vegetal similar nas SEP's 01 e 02 ajudou a mitigar essa variável, embora a SEP 02 tenha acumulado material argiloso devido à erosão.

Falsos-positivos também foram identificados em áreas onde a umidade do solo é maior em profundidades maiores, resultando da infiltração de água da chuva misturada com fluidos orgânicos da decomposição, especialmente perto das SEP's 01 e 02. Na SEP 01, uma zona mais resistiva abaixo do alvo a partir de 1,80m pode ser atribuída às camadas granulares colocadas para conter os fluidos de decomposição. O monitoramento contínuo dessa zona de maior resistividade está em andamento como parte da pesquisa.

Conclui-se que A identificação de alvos forenses enterrados em diferentes profundidades utilizando a variação da resistividade elétrica nas sepulturas experimentais do FOREN/FAL/UnB apresentou resultados parciais. Ambas as sepulturas tinham uma cobertura de 70% areia e 30% argila, mas apenas o alvo enterrado a 0,50 metros mostrou valores reduzidos de resistividade elétrica (<600 Ohm.m) em comparação com o latossolo (>2.500 Ohm.m). O alvo enterrado a 0,90 metros apresentou valores intermediários, dificultando a identificação precisa de sua posição.

A migração de fluidos orgânicos da decomposição, devido à infiltração de precipitação, pode ter influenciado os valores de resistividade elétrica na SEP 02 e gerado falsos-positivos em áreas próximas aos alvos das SEP's 01 e 02.

Os resultados deste estudo são valiosos para a identificação de alvos forenses através da análise da variação da resistividade elétrica em investigações realizadas em solos tropicais.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço à minha família pelo suporte incondicional e ao meu orientador pela orientação e pelo incentivo contínuo ao longo de minha jornada acadêmica e profissional. Sem o apoio e comprometimento de cada um de vocês, esse trabalho não seria possível de ser realizado.

Agradeço igualmente ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília e os profissionais da Fazenda Água Linda que proporcionou os recursos e o ambiente necessários para a realização deste trabalho, e à comissão avaliadora pela consideração e reconhecimento.

Referências

ABATE, D. et al. (2019). Optimizing search strategies in mass grave location through the combination of digital technologies. Forensic Science International: Synergy, 95–107.

BÜYÜKSARAÇ, A. et al. (2013). Geophysical investigations at Agadere Cemetery, Gallipoli Peninsular, NW Turkey. Australian Journal of Forensic Sciences 46, 111–123. DOI:10.1080/00450618.2013.804948

CASTRO, K. C. P. L. (2021). Aplicação de Ground Penetrating Radar (GPR) para Identificação de Evidências Forenses no Sítio Controlado Fazenda Água Limpa/Universidade de Brasília - DF. Trabalho de

Conclusão de Curso (Bacharelado em Geofísica). Instituto de Geociências. 100p.

CASTRO, K. C. P. L. & Cunha L. S. (2021). Forensic Investigations with the Identification of Human Remains with Ground Penetrating Radar (GPR): A Review. Estudos Geológicos 31(2), 64–86. DOI 10.18190/estudosgeologicos.v31n2p64-86

CAVALCANTI, M. M. (2017). Estudo da Resposta Geofísica em Diferentes Cenários de Sepultamento. Tese de doutorado. Instituto de Geociências. 197p.

CAVALCANTI, M. M. et al. The forensic geophysical controlled research site of the University of Brasília, Brazil: Results from methods GPR and electrical resistivity tomography. Local: FORENSIC SCIENCE INTERNATIONAL, 2018. v. 293. DOI: 10.1016/j.forsciint.2018.09.033

DORO, Kennedy O. et al. Time-Lapse Electrical Resistivity Tomography Imaging of Buried Human Remains in Simulated Mass and Individual Graves Local: FRONTIERS IN ENVIRONMENTAL SCIENCE, 2022. v. 10. DOI: 10.3389/fenvs.2022.882496

MOLINA, C. M. et al. Testing Application of Geographical Information Systems, Forensic Geomorphology and Electrical Resistivity Tomography to Investigate Clandestine Grave Sites in Colombia, South America. 1. ed. Local: JOURNAL OF FORENSIC SCIENCES, 2020. 266-273 p. v.65. DOI: 10.1111/1556-4029.14168.

OBROCKI, L. et al. Detection and localization of chamber tombs in the environs of ancient Olympia, Peloponnese, Greece, based on a combination of archaeological survey and geophysical prospection. 6. ed. Local: GEOARCHAEOLOGY-AN INTERNACIONAL JOURNAL, 2019. 648-660 p. v. 34. DOI: 10.1002/gea.21724

POWELL, K. Grave concerns: locating and unearthing human bodies. Local: Australian Academic Press, Bowen Hills 1921513705, 2010.

PRINGLE, Jamie K., JERVIS, J., CASSELLA, J.P., CASSIDY, N.J. Time-lapse geophysical investigations over a simulated urban clandestine grave. Local: JOURNAL OF FORENSIC SCIENCES, v. 53, n. 6, p. 1405–1416, 2008.

PRINGLE, Jamie K. & JERVIS, John R. Electrical resistivity survey to search for a recent clandestine burial of a homicide victim, UK. 1-3. ed. Local: FORENSIC SCIENCE INTERNACIONAL, 2010. E1-E7 p. v. 202. DOI: 10.1016/j.forsciint.2010.04.023

PRINGLE, Jamie K. et al. Geophysical Monitoring of Simulated Clandestine Graves Using Electrical and Ground-Penetrating Radar Methods: 0-3 Years After Burial. 6. ed. Local: JOURNAL OF FORENSIC SCIENCES, 2012. 1467-1486 p. v. 57. DOI: 10.1111/j.1556- 4029.2012.02151.x

WISNIEWSKI, K. et al. (2019). The Search for “Fred”: An Unusual Vertical Burial Case. J Forensic Sci 1530– 1539 p. v. 64. DOI: 10.1111/1556-4029.14035