

Sistema de aeronave remotamente pilotada em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos (ARSU)

Mônica Figueiredo Veloso

Pós-Graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia

Instituição: Universidade do Estado do Pará (UFPA)

E-mail: monicaoficialcbmpa@gmail.com

Eliane de Castro Coutinho

Doutora em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)

E-mail: elianecoutinho@uepa.br

Leonardo Sousa dos Santos

Doutor em Geografia

Instituição: Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (CEDEC)

E-mail: leonardodrgeo@gmail.com

Carlos Benedito Barreiros Gutierrez

Doutor em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)

E-mail: carlos.gutierrez@uepa.br

Johann Mak Douglas Sales da Silva

Graduada em Ciências Econômicas

Instituição: Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (CEDEC)

E-mail: douglasbmpa@hotmail.com

Camilo Quaresma de Jesus

Graduando em Engenharia

Instituição: Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (CEDEC)

E-mail: camilopit@yahoo.com.br

Fábio Wendell Lima da Luz

Pós-Graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia

Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)

E-mail: wendell.fire@gmail.com

Izaias Machado dos Santos

Tecnólogo em Segurança Pública

Instituição: Grupamento Aéreo de Segurança Pública (GRAESP)

E-mail: Izaias.msantos@gmail.com

Jackson Frank Silveira Nascimento

Instituição: Grupamento Aéreo de Segurança Pública (GRAESP)

E-mail: silveirajackson@live.com

RESUMO

O progresso tecnológico tem proporcionado uma ampliação da capacidade de observação do espaço geográfico. A tecnologia dos drones ou Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) está sendo amplamente difundida. Com o aumento do uso das SARP, há uma crescente utilização desta tecnologia para monitoramento, fiscalização e planejamento, além da obtenção de imagens aéreas para estudos do relevo, com especial atenção aos impactos ambientais. A utilização dessa aeronave pode contribuir significativamente para a redução dos danos ambientais. O objetivo deste trabalho é aproveitar o SARP aproveitando os recursos dessa aeronave e os produtos que podem ser gerados, visando planejar medidas de segurança para o combate a incêndios em massa de resíduos sólidos urbanos. O trabalho apresentou o desafio de gerenciar o combate ao fogo em aterros de resíduos sólidos, sendo uma ferramenta valiosa para o levantamento e monitoramento dessas áreas, especialmente durante a ocorrência de incêndios em massa. Considera-se que este trabalho e a metodologia proposta foram adequados e inovadores, pois forneceu uma orientação de ferramenta para coleta de dados para o planejamento contra incêndios. Os resultados mostraram que o uso de SARP, para mapeamento de área pode ser útil para o planejamento de combate a incêndios, neste contexto, dos ARS-Aurá e Guamá.

Palavras-chave: Tecnologias. Sobrevoo. Lixo Urbano. Fogo.

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico das últimas décadas transformou a forma como o ser humano observa e comprehende o espaço geográfico. Entre as inovações mais relevantes estão os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP), conhecidos como drones. O termo “drone”, de origem norte-americana, designa aeronaves controladas à distância (DE QUEIROZ et al., 2022). O SARP é a tradução do termo Unmanned Aircraft System (UAS), adotado pela International Civil Aviation Organization (ICAO) (SANTOS, 2019).

Inicialmente voltados para fins militares, os SARP passaram a ser amplamente utilizados em atividades civis, como o monitoramento ambiental, a infraestrutura, a mineração, a construção civil e a agricultura (CHOMSKY; VLTCHEK, 2022). Essa tecnologia possibilita a obtenção de informações precisas da superfície terrestre, com baixo custo e alta qualidade, revolucionando especialmente o mapeamento geográfico (SANTOS, 2021). Há diferentes tipos de SARP conforme a finalidade: os de asa rotativa, mais populares, e os de asa fixa, com maior autonomia e alcance.

Segundo Santos et al. (2020), os SARP fornecem dados rápidos e detalhados, sendo úteis no mapeamento de aterros sanitários e lixões, áreas frequentemente afetadas por queimadas e incêndios que causam explosões e danos ambientais e à saúde pública. Quintas (2005) destaca que a intensidade dos incêndios e a infraestrutura inadequada dos aterros podem causar sérios impactos ambientais e riscos à saúde humana, exigindo medidas preventivas eficazes.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010 e regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010, define resíduos sólidos como materiais descartados de atividades humanas que devem ser gerenciados de forma técnica, economicamente viável e ambientalmente sustentável (BRASIL,

2010). Essa preocupação tem raízes na Revolução Industrial, período em que se intensificaram os padrões de produção e descarte (SEARA et al., 2013), mas a questão remonta ainda à Idade Média, com os primeiros problemas sanitários urbanos (CÂNDIDO et al., 2009).

Atualmente, há uma crise na gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), agravada pela urbanização acelerada e pela carência de infraestrutura. Marques (2011) aponta que a disposição inadequada dos RSU é um dos maiores desafios municipais, devido à falta de recursos e conhecimento técnico. Essa má gestão gera impactos como a degradação do solo, contaminação hídrica, poluição do ar e proliferação de vetores (JACOBI et al., 2021).

Na Região Metropolitana de Belém (RMB), a situação é crítica. Belém, Ananindeua e Marituba recolhem cerca de 40 mil toneladas de lixo por dia, resultando em mau cheiro, contaminação e transtornos à população. Somente os resíduos domiciliares correspondem a cerca de 1.620 toneladas diárias (VALE et al., 2015). A disposição inadequada e o risco de reativação do antigo lixão do Aurá agravam a “crise do lixo” local, intensificando os incêndios em maciços de resíduos (PORTELLA, 2014).

Os Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos (ARSU) são áreas de risco permanente devido à possibilidade de incêndios provocados por acúmulo de materiais inflamáveis, falhas operacionais e fatores climáticos. Por isso, torna-se essencial o uso de métodos eficazes de monitoramento, controle e prevenção. Em Belém, os ARSU apresentam elevado risco de combustão, mesmo sem receber resíduos perigosos, podendo causar poluição atmosférica e contaminação do solo e da água.

A utilização de drones equipados com sensores ópticos, térmicos e multiespectrais permite o monitoramento aéreo ágil e seguro, identificando focos de calor e avaliando o comportamento do fogo com precisão. Assim, o uso dos SARPs em aterros representa uma inovação tecnológica significativa, contribuindo para o planejamento, fiscalização e prevenção de incêndios, além de apoiar o monitoramento ambiental (SANTOS, 2021).

Dessa forma, esta dissertação tem como objetivo analisar o emprego dos SARPs em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos (ARSU), destacando seus recursos técnicos e produtos para o planejamento de medidas de prevenção e combate a incêndios. Pretende-se demonstrar como essa tecnologia pode contribuir para uma gestão mais segura, eficiente e sustentável dos resíduos sólidos urbanos, integrando inovação tecnológica e responsabilidade ambiental.

2 METODOLOGIA

A pesquisa é de caráter bibliográfico, qualitativo e descritivo, fundamentada na análise de referências sobre o uso de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) na gestão e monitoramento de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos (ARSU). Foram consultados livros, artigos, dissertações e teses sobre gestão de resíduos, sensoriamento remoto, fotogrametria, geoprocessamento e prevenção de incêndios

(BRASIL, 2010; GOUVEIA, 2011; FLORENZANO, 2016; SANTOS, 2021). A metodologia compreendeu três etapas: coleta de dados, análise de dados e trabalho de campo, integrando informações de sensoriamento remoto e observações in loco.

2.1 COLETA DE DADOS

A coleta foi realizada nos ARSU da Região Metropolitana de Belém (RMB) utilizando o SARP DJI Mavic 2 Enterprise Advanced, equipado com GNSS L1, IMU, câmera RGB e térmica de 20 MP, autonomia de 25 minutos e alcance de 4 km. O sobrevoo experimental ocorreu às 13h, sob condições climáticas favoráveis aferidas pelo aplicativo UAV Forecast (FLORENZANO, 2016). O planejamento e execução dos voos foram feitos no DroneDeploy® (DD), que permite configurar rotas, altitude e sobreposição de imagens (DA SILVA et al., 2021). No ARS–Aurá, o voo foi realizado a 100 m de altura, com sobreposição frontal de 75% e lateral de 65%, cobrindo 0,217 km² em 13 minutos e gerando 252 imagens. Todos os voos seguiram as normas da ANAC, DCEA, ANATEL, ANTAQ e ANEEL, conforme Santos (2021). Os produtos obtidos subsidiaram a elaboração de mapas digitais de alta resolução para o planejamento de ações de combate a incêndios.

2.2 ANÁLISE DE DADOS

Os dados capturados foram processados no DroneDeploy®, com verificação de pontos de checagem para aprimorar a acurácia do ortomosaico e dos modelos 3D. Foram gerados produtos como ortomosaico 2D, NDVI, MDE, MDT, modelo termal (MIT) e modelo 3D (M3D), posteriormente integrados ao QGIS. Essa integração permitiu manipulação e análise espacial, resultando em mapas temáticos na escala 1:5.000, utilizados no planejamento das ações de combate a incêndios (IBAM, 2015). Os mapas identificaram construções, estruturas e áreas de risco, fornecendo subsídios técnicos ao monitoramento operacional.

2.3 TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo foi essencial para validar os dados obtidos por sensoriamento remoto e refinar o planejamento dos voos. Foram utilizados o aplicativo Avenza Maps para marcar pontos de controle terrestre e áreas de risco. Também foram realizadas observações diretas e registros fotográficos para caracterizar as áreas de deposição de resíduos, avaliando variáveis como tipo de solo, declividade, drenagem e área ocupada.

Além disso, foi conduzido um simulado de incêndio e evacuação na Central de Processamento e Tratamento de Resíduos Urbanos (CPTR–Marituba), com apoio do 25º Grupamento Bombeiro Militar (GBM). A atividade possibilitou o reconhecimento das condições operacionais do aterro e a elaboração de um plano de segurança para prevenção e combate a incêndios e deslizamentos, em conformidade com as

normas vigentes (SANTOS, 2021). Durante o exercício, aplicou-se um checklist operacional para voo com SARP, essencial ao planejamento das missões e ao apoio das ações do CBMPA.

4 RESULTADOS E DISSCUÇÕES

O aerolevantamento realizado com o modelo DJI Mavic 2 Enterprise Advanced gerou produtos que forneceram informações detalhadas sobre os Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos da Região Metropolitana de Belém (ARSU-RMB). O primeiro produto gerado pela aeronave remotamente pilotada foi o modelo digital, ou ortomosaico, que resulta da união de várias cenas (ortofotos) capturadas no ARS-Aurá. O ortomosaico do ARS-Aurá consiste em uma imagem aérea georreferenciada, produzida por meio da plataforma de processamento de imagens DroneDeploy (DD). Isso significa que os elementos espaciais nas ortofotos — como o aterro, os maciços, as árvores e as edificações — possuem posições correspondentes à sua localização geográfica real.

O ortomosaico dos aterros pode ser utilizado para o levantamento de informações, principalmente visuais e atualizadas, sobre essas áreas. Trata-se de um produto essencial para o uso cotidiano nas atividades do ARSU-RMB, podendo ser empregado por diversos setores, como engenharia, topografia, energia, mineração, agricultura e, especialmente, pelo Corpo de Bombeiros Militar do Pará (CBMPA).

Esse produto é amplamente utilizado na construção de cartas-imagem e mapas, para a realização de inspeções, georreferenciamentos, aferições de área, comparação de mapas e acompanhamento da evolução de projetos. Além disso, tem aplicação direta no planejamento de ações de combate a incêndios nos maciços. Na Figura 1, apresenta-se o ortomosaico do ARS-Aurá, o qual possibilita o pré-mapeamento e a identificação de pontos estratégicos para o planejamento de combate a incêndios, bem como a análise de outros dados relevantes para a compreensão dos riscos e ameaças no ARSU-RMB.

Figura 1 - Ortomosaico ou ortofoto georreferenciada do ARS do Aurá



Fonte: Autor, 2024

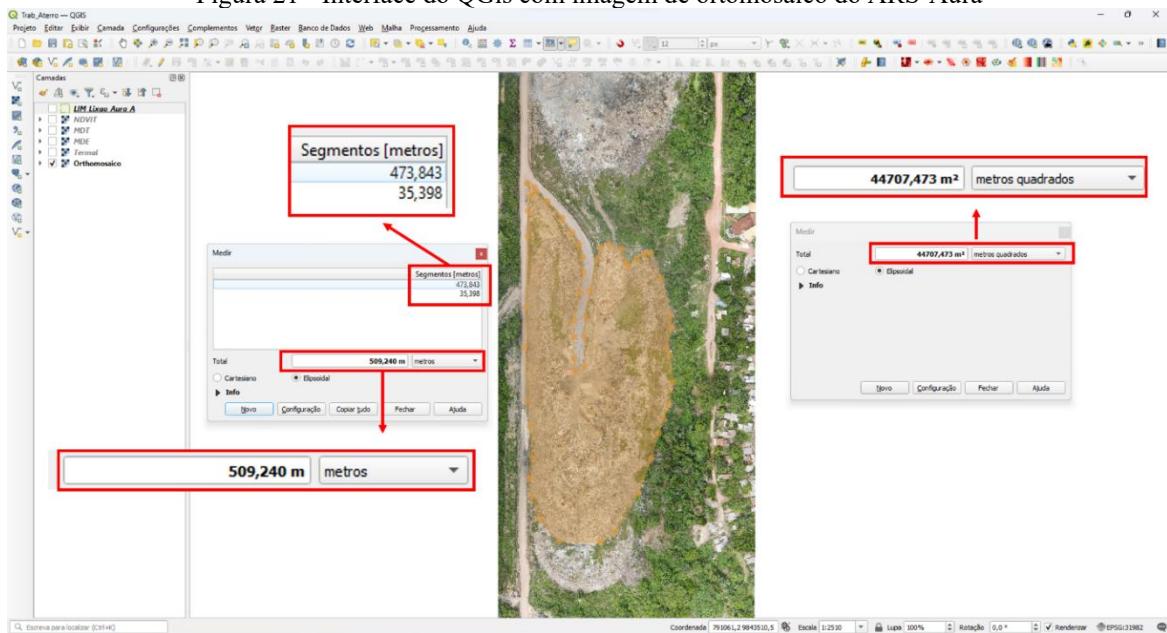
O ortomosaico do ARS-Aurá proporciona uma visão vertical completa da área, favorecendo a realização de exames periciais e facilitando a coleta de informações com menor intervenção e exposição de vistoriadores ou peritos. Assim, o uso de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) para o

levantamento de dados preliminares nesses locais é altamente recomendável, pois se trata de uma ferramenta capaz de obter, com rapidez e precisão, grande volume de dados de alta qualidade, além de permitir a coleta de coordenadas espaciais.

De modo geral, o ortomosaico é o principal produto gerado pelo SARP, uma vez que, por meio de softwares que unem ortofotos a partir de pontos comuns identificados em duas ou mais imagens — como o DroneDeploy e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS® —, é possível realizar medições diretas de distâncias, áreas e ângulos, além de elaborar mapas temáticos ou plantas de situação, com precisão, agilidade e baixo custo.

Com a inserção do ortomosaico do ARS-Aurá no SIG (Figura 2), tornam-se viáveis medições, demarcações e análises para o emprego tático e operacional do combate a incêndios e para o estabelecimento do posto de comando pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Pará. O ortomosaico também pode servir como base para perícias de incêndio e explosão. No contexto do planejamento de ações contra incêndios em aterros de resíduos sólidos, a implementação do QGIS facilita a manipulação das imagens capturadas pelo SARP, como o ortomosaico, para fins de levantamento topográfico, análise do volume de resíduos do maciço, avaliação de corpos d'água, posicionamento de viaturas e implantação do Sistema de Comando de Incidentes (SCI), entre outros. Na Figura 2, ilustra-se a aplicação das ferramentas do SIG utilizadas para medir segmentos e áreas do ARS-Aurá na imagem de ortomosaico, bem como em outros produtos obtidos automaticamente pelo SARP via DroneDeploy (DD).

Figura 21 - Interface do QGis com imagem de ortomosaico do ARS-Aurá



Fonte: Autor, 2023

No SIG QGIS®, também é possível elaborar uma Carta Imagem (CI) dos aterros de resíduos sólidos da RMB, com o objetivo de definir pontos estratégicos de combate a incêndios. Além disso, essa ferramenta

possibilita a identificação detalhada das características estruturais, fundamentais para a composição de relatórios técnicos de prevenção de incêndios no ARSU-RMB. O ortomosaico do ARS-Aurá, com resolução espacial de 2,04 cm, é uma imagem raster de alta precisão, que permite a visualização completa da área do aterro e a produção de Cartas Imagem (CI) ou Mapas Digitais (MD). Esses produtos são utilizados tanto para levantamentos de informações espaciais quanto para a visualização atualizada de regiões de interesse, especialmente em áreas sujeitas a ocorrências de fogo no maciço de resíduos sólidos.

Por meio dos mapas do ASRS-Aurá (Figura 14), é possível realizar inspeções, georreferenciamentos, aferições de áreas queimadas e acompanhar a evolução das ações de combate ao fogo executadas pelo CBMPA. Dessa forma, a Figura 3 ilustra a aplicação do Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS, com a imagem do aterro de resíduos sólidos do Aurá, utilizada para a definição de pontos estratégicos de combate a incêndios, além de possibilitar a identificação de características estruturais relevantes à elaboração de relatórios técnicos de incêndios.

Figura 32 – Carta Imagem (CI) do ARS-Aurá para o levantamento de informações de interesse



Fonte: Autor, 2024.

Consequentemente, uma Carta Imagem (CI) gerada a partir do ortomosaico produzido por SARP (drone) constitui uma representação cartográfica que permite a visualização integral e detalhada da área mapeada. Entre seus principais benefícios, destacam-se a economia de tempo, a riqueza de detalhes e a precisão na identificação de pontos e obstáculos reais do terreno, que podem interferir no deslocamento de viaturas até os focos de incêndio, contribuindo significativamente para o planejamento eficiente do combate ao fogo.

O recurso cartográfico também pode ser visualizado por meio de aplicativos móveis, como o Avenza Maps, que dispõe de ferramentas para localização espacial de forma ágil e intuitiva, além de permitir troca de informações em tempo real entre as guarnições envolvidas nas ocorrências. Esse recurso auxilia, ainda, na estruturação do Sistema de Comando de Incidentes (SCI). Na Figura 4, apresenta-se a Carta Imagem do ARS-Guamá visualizada no aplicativo Avenza Maps. Assim, a CI, gerada no SIG e exportada para o aplicativo, auxilia na tomada de decisão quanto ao tipo e à quantidade de recursos a serem enviados para a ocorrência, além de subsidiar o planejamento operacional do CBMPA com base em imagens atualizadas, que podem ser transmitidas em tempo real para o SCI.

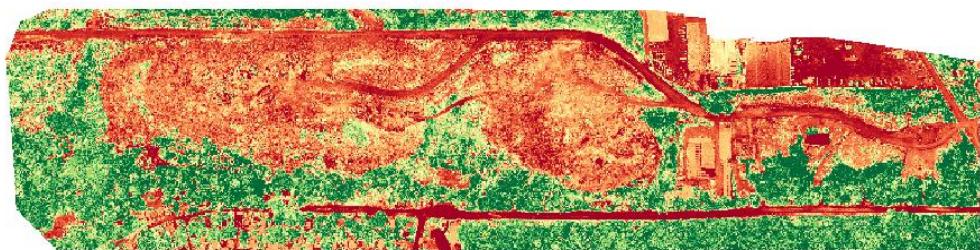
Figura 43 – Planta de situação da CPTM-Marituba (ASRS-Guamá) no App Avenza Maps



Fonte: Autor, 2024

A imagem de Interação Solo e Planta (NDVIT), também gerada pelo SARP, tem como resultado a diferenciação entre áreas ocupadas e vegetadas, de forma prática e eficaz. Na Figura 16, observa-se a área do ARS-Aurá, na qual a coloração vermelha indica regiões sem cobertura vegetal ou ocupadas por estruturas. A imagem apresentada na Figura 5 constitui um exemplo de aplicação do Sensoriamento Remoto com SARP. No caso do NDVIT do ARS-Aurá, o produto representa um recurso essencial para a caracterização e espacialização do meio físico, servindo de base para o planejamento das ações de combate a incêndios em aterros sanitários. O NDVIT auxilia na identificação e caracterização dos solos, da vegetação e das vias de acesso, o que é fundamental para o planejamento das posições de viaturas do CBMPA, uma vez que permite diferenciar estradas, arruamentos e áreas desprovidas de vegetação.

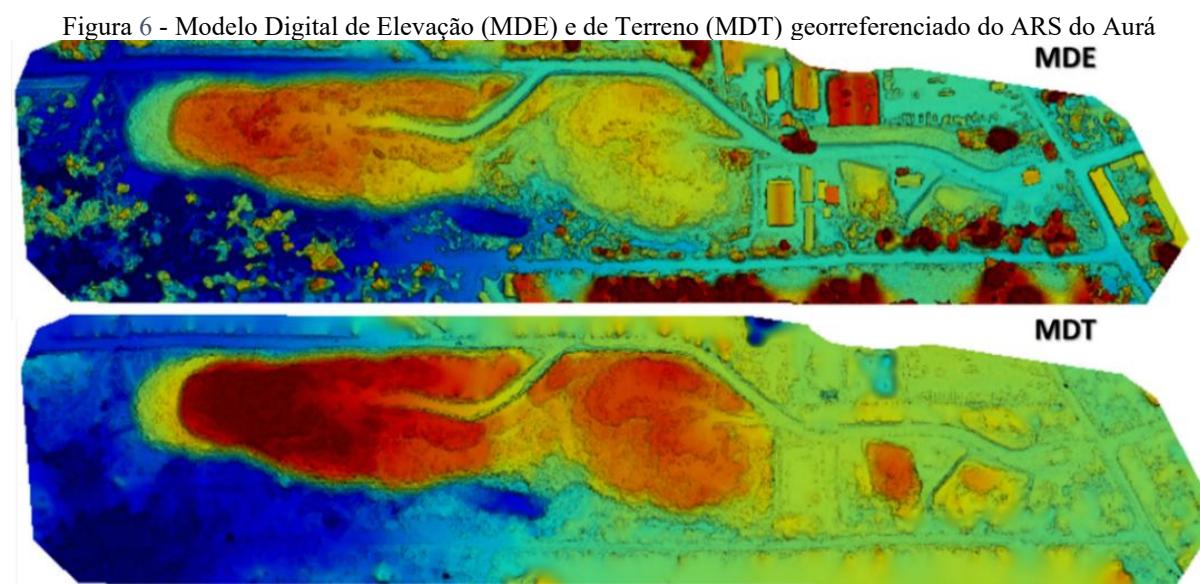
Figura 5 - Interação Solo e Planta (NDVIT) georreferenciado do ARS do Aurá.



Fonte: Autor, 2024.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) e o Modelo Digital de Terreno (MDT) do ARS-Aurá são produtos gerados pelo SARP que representam a superfície e o terreno em três dimensões, incluindo informações sobre elevação e altura do solo, vegetação e estruturas artificiais. O MDE, também conhecido como Modelo Digital de Superfície (MDS), representa todos os objetos acima do solo, como prédios, árvores, veículos e pessoas. Embora o MDE não seja adequado para projetos de altimetria de alta precisão, ele fornece ao CBMPA uma visão geral do plano de elevação do ARS-Aurá, constituindo um recurso valioso para o planejamento de combate a incêndios. Com base nesse modelo, é possível construir planos altimétricos de áreas específicas, considerando elementos como vegetação e edificações, o que contribui para análises táticas mais seguras e eficientes.

Além disso, o uso conjunto do MDE e do MDT do ASRS-Aurá permite identificar rotas de acesso mais eficientes para os veículos de combate do CBMPA, levando em conta a topografia do terreno. A partir dessas informações, podem-se planejar barreiras de contenção destinadas a evitar a propagação do fogo no maciço. Na Figura 6, observa-se que os produtos MDE e MDT do SARP no ARS-Aurá podem ser amplamente empregados no planejamento de ações de combate a incêndios. Esses modelos devem ser analisados em conjunto com outras informações táticas e estratégicas definidas pelo Comandante do Socorro (CMD do SOS). Verifica-se nas imagens que é possível identificar regiões mais baixas e mais elevadas do terreno, bem como áreas com presença de cursos d'água, as quais podem ser utilizadas para o reabastecimento das viaturas-tanque do CBMPA.



Fonte: Autor, 2024

A câmera térmica do SARP é um dispositivo que utiliza tecnologia infravermelha para capturar imagens contendo informações de temperatura. Diferentemente das câmeras convencionais RGB, que registram a luz visível, as câmeras térmicas detectam a radiação infravermelha emitida pelos objetos com

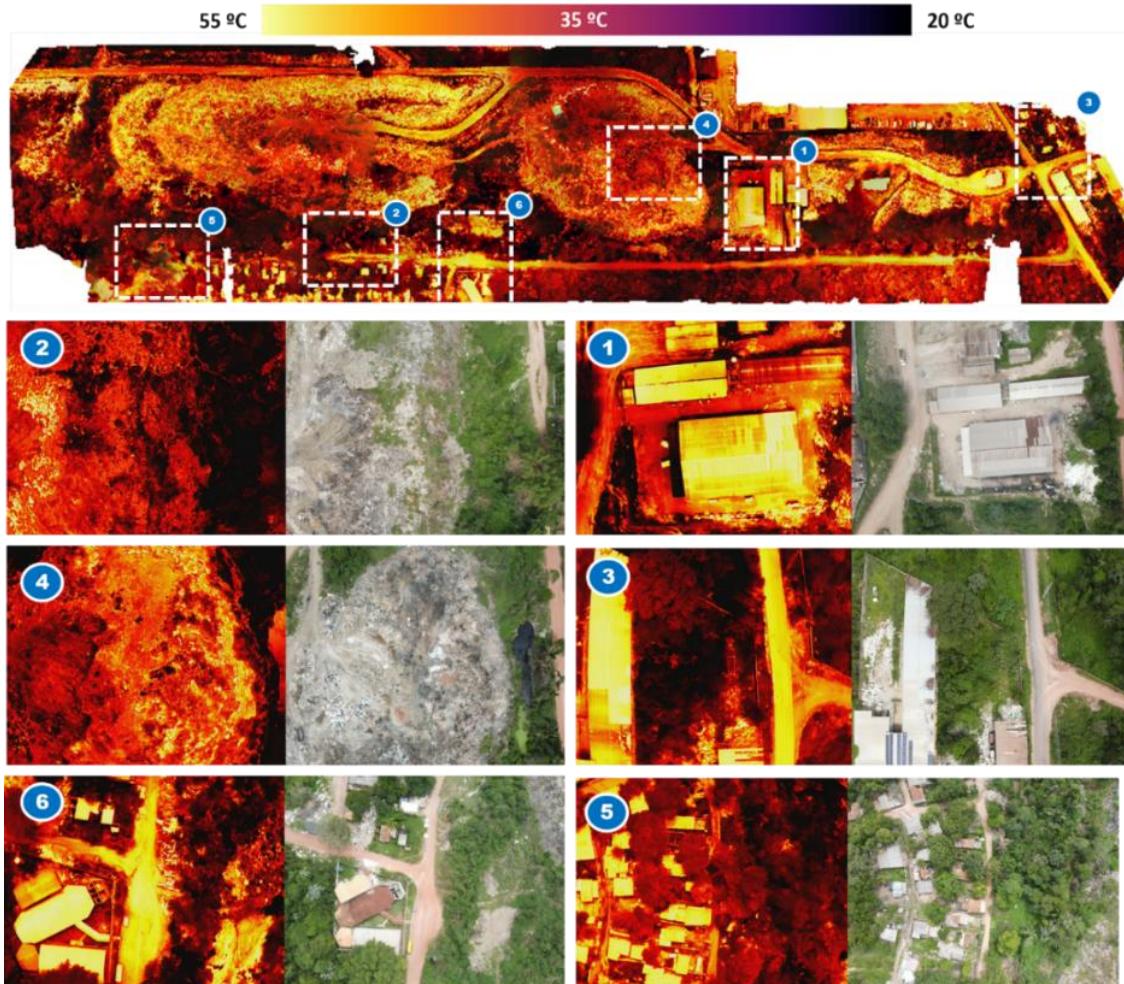
base em suas temperaturas (Figura 18). Dessa forma, esse recurso gera o produto de imagem térmica, o qual possui diversas aplicações no planejamento de combate ao fogo em aterros de resíduos sólidos, possibilitando o mapeamento e o monitoramento de áreas.

Esse tipo de imagem permite identificar variações de temperatura e, consequentemente, padrões térmicos, além de reconhecer pontos quentes e frios e locais de difícil acesso devido à intensidade térmica. Além de apoiar o planejamento do combate ao fogo, a câmera térmica do SARP pode ser empregada em diferentes contextos, como operações de busca e salvamento, inspeções em infraestruturas do maciço (pontos 2 e 4) e em edificações (pontos 1, 5 e 6), bem como em monitoramento ambiental e de segurança (ponto 3) das instalações nos ARSU-RMB.

A câmera térmica aplicada no ARS-Aurá capturou informações térmicas que oferecem uma perspectiva valiosa em situações de baixa visibilidade, nas quais as câmeras ópticas convencionais podem não ser suficientes, como durante a noite ou em ambientes densamente vegetados. No contexto do ARSU da RMB, as câmeras térmicas desempenham um papel fundamental no monitoramento preventivo de focos de calor e de fogo, por meio da análise das variações de temperatura em edificações, estradas e residências. Regiões em tons mais avermelhados indicam presença de calor elevado ou chamas, permitindo respostas rápidas e eficazes para evitar a propagação do fogo.

Na Figura 8, observa-se a imagem tridimensional dos Aterros de Resíduos Sólidos do Aurá (ARS-Aurá), com identificação de pontos de interesse para o combate ao fogo, como edificações existentes, arruamentos, estradas e maciços. Essa representação auxilia também na localização de pontos de drenagem naturais, os quais podem ser aproveitados para direcionamento de água às áreas incendiadas. O Modelo Tridimensional de Terreno (M3D) gerado pelo SARP constitui um recurso de representação visual detalhada do terreno, permitindo que as equipes de bombeiros planejem estratégias de combate mais eficazes durante e após o evento.

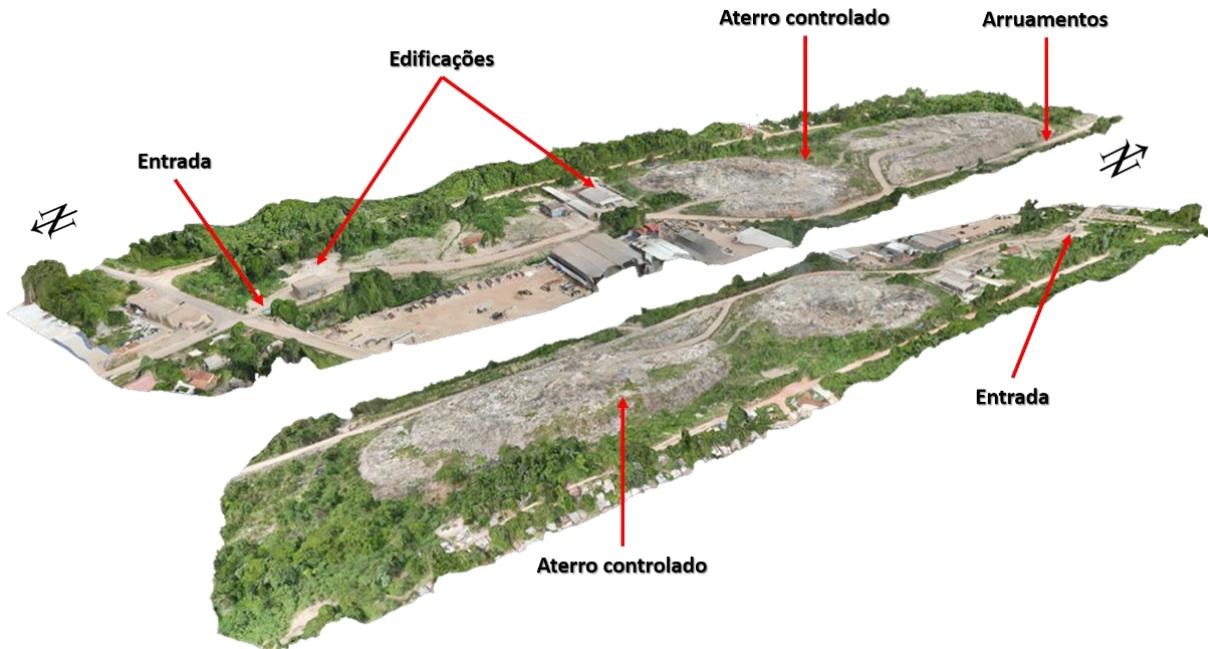
Figura 74 – Imagem Termal georreferenciado do ARS do Aurá



Fonte: Autor, 2024

O modelo 3D é particularmente útil para identificar rotas de acesso eficientes aos veículos de combate, levando em consideração a topografia do terreno do ARS-Aurá. Com a imagem 3D do ARS-Aurá, em conjunto com o MDE e o MDT, os bombeiros podem definir técnicas de combate adequadas, como a aplicação de jatos neblinados de água em pulsos rápidos e controlados, otimizando o resfriamento do maciço. O M3D destaca-se, portanto, ao permitir a visualização de pontos de acesso, edificações, estradas e barreiras naturais, que podem tanto dificultar o combate ao fogo quanto impedir a sua propagação, conforme a Figura 8.

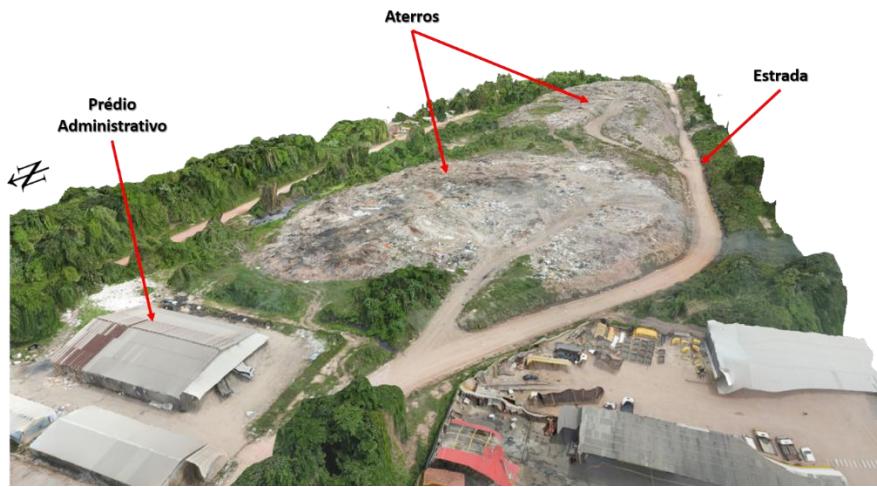
Figura 8 - Modelo Tridimensional do Terreno (M3D) do ARS-Aurá.



Fonte: Autor, 2024

Na Figura 9, é possível identificar diversas características e elementos estruturais do aterro, incluindo edificações suscetíveis a risco durante incêndios, com possibilidade de aferição de suas alturas. Os arruamentos e caminhos internos são claramente visíveis no M3D, o que é útil para o gerenciamento do tráfego das viaturas do CBMPA durante situações de emergência. Por fim, com o M3D, o CBMPA obtém uma visão tridimensional do uso do solo, permitindo a localização de áreas residenciais, comerciais e industriais no entorno do ARS-Aurá.

Figura 95 - Modelo Tridimensional das estruturas do ARS-Aurá.



Fonte: Autor, 2024.

Na Figura 10, ainda com a imagem 3D do ARS-Aurá, observam-se regiões vegetadas e a diferenciação das edificações de múltiplos pavimentos, além da estimativa do volume do aterro. Essas

informações são úteis para avaliar a quantidade de material necessário para cobertura das áreas afetadas por incêndios. O modelo 3D do ARS-Aurá é extremamente valioso para o planejamento de ações em aterros de resíduos sólidos urbanos, pois permite uma visualização detalhada do local, facilitando a identificação de áreas de risco e a elaboração de estratégias de prevenção e combate a incêndios pelo CBMPA.

Figura 10 - Modelo Tridimensional dos aterros e estradas do ARS-Aurá

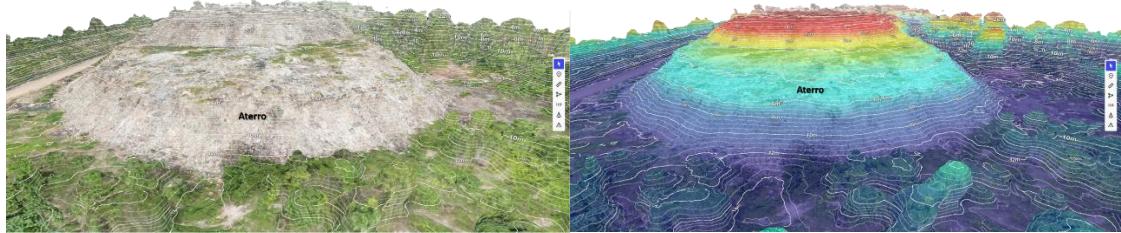


Fonte: Autor, 2024

Entretanto, é importante ressaltar que a eficácia do M3D depende diretamente da precisão dos dados coletados e do processamento adequado das imagens. Os voos planejados a 100 metros de altitude permitiram gerar modelos comparativos detalhados, possibilitando uma análise refinada da superfície terrestre e a identificação de zonas estratégicas para o posicionamento das viaturas de combate. A partir do ortomosaico georreferenciado, combinado a outros produtos, como o Modelo Digital de Elevação (MDE), é possível visualizar valores de declividade e curvas de nível, criando um perfil altimétrico do ARS-Aurá.

Na Figura 11, observam-se as curvas de nível do maciço, que representam graficamente a variação altitudinal do aterro — informações essenciais para o planejamento de rotas de acesso e combate, além de apoiar a avaliação de áreas seguras para evacuação, quando necessário. Assim, o SARP permitiu representar a variação de elevação do terreno tanto no maciço quanto no entorno do aterro. A Figura 11 apresenta o ortomosaico e o MDE do ARS-Aurá obtidos por sobrevoo do SARP, associados às curvas de nível geradas no DroneDeploy, com espaçamento de 2 metros entre elas.

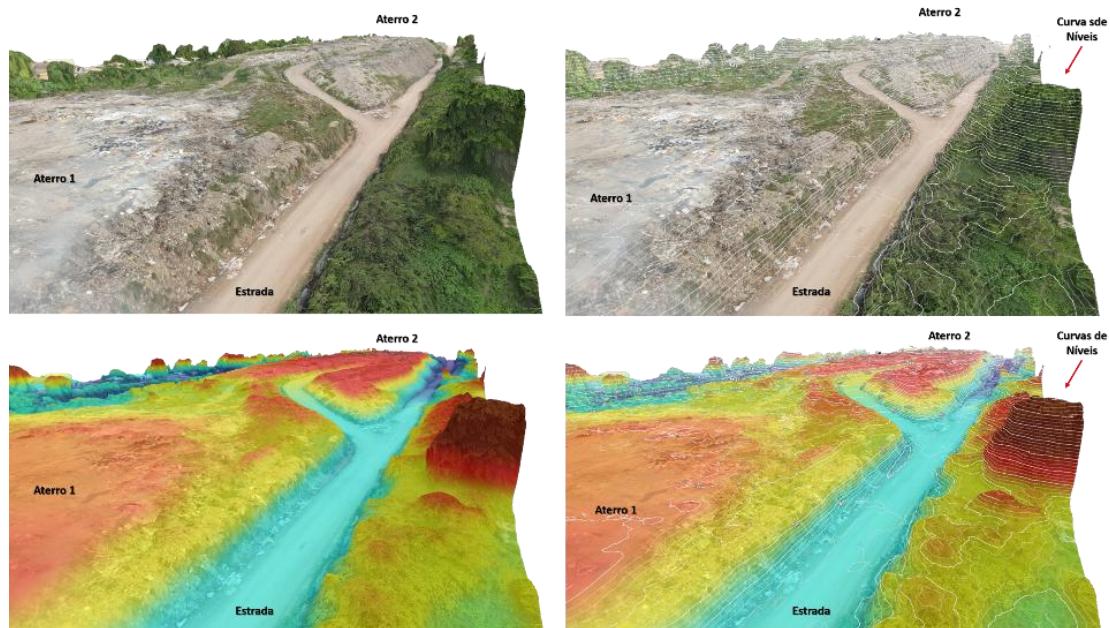
Figura 116 - Modelo Tridimensional e de elevação do ARS-Aurá



Fonte: Autor, 2024

Os produtos gerados pelo sobrevoo do SARP — como o M3D, o MDE e o MDT — são amplamente aplicáveis ao planejamento de combate a incêndios, envolvendo diversas etapas de análise. Nesse sentido, a Figura 12 apresenta uma interpretação integrada do terreno do ASRS-Aurá, com base no uso do ortomosaico, do MDE e do MDT, permitindo identificar áreas de maior risco, bem como planejar rotas de acesso para veículos de combate do CBMPA e da Defesa Civil.

Figura 12 - Modelo Tridimensional e de elevação do ARS-Aurá



Fonte: Autor, 2024

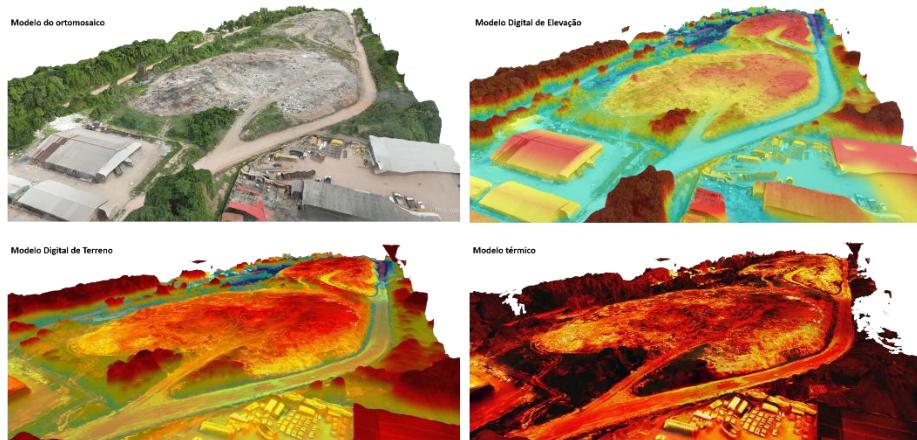
A análise inter-relacionada dos produtos do SARP aplicados aos Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos da Região Metropolitana de Belém (ARSU-RMB) contribui significativamente para a tomada de decisão durante ações dinâmicas de combate ao fogo. A configuração do maciço apresentada nos modelos M3D, MDE, MDT e nas curvas de nível fornece dados sobre altura, largura e declividade, fatores essenciais para avaliar a estabilidade estrutural do terreno e definir condições seguras para o combate, conforme ilustrado na Figura 13.

No caso do ARS-Aurá, as análises integradas dos produtos do SARP sobre uma área específica

facilitam a identificação e quantificação de objetos, como edificações, incluindo informações altimétricas. A câmera térmica pode, nesse contexto, ser utilizada para monitorar a temperatura da superfície do aterro durante e após incêndios, especialmente nas regiões de maior combustão ou potencial risco de explosão.

Na Figura 13, nota-se que a interrelação dos produtos gerados pelo SARP — particularmente as imagens térmicas e ortogonais de alta resolução — permite analisar de forma detalhada a condição do terreno do ARS-Aurá. A associação entre os produtos SARP deve ser vista como ferramenta estratégica de apoio ao CBMPA, pois possibilita o monitoramento da propagação do fogo, considerando topografia, uso do solo e intensidade térmica, tudo a partir de uma posição segura. Essas informações orientam o direcionamento eficiente dos esforços de combate, levando em conta a altimetria alcançável pelas viaturas sobre o maciço e evitando a exposição das equipes a situações de risco. Assim, o uso inter-relacionado dos produtos SARP nos ARSU-RMB fornece informações valiosas em tempo real, aprimorando a segurança e a eficácia das operações de combate a incêndios.

Figura 137 – Produtos gerais de SARP do ARS do Aurá Região Metropolitana de Belém (RMB)

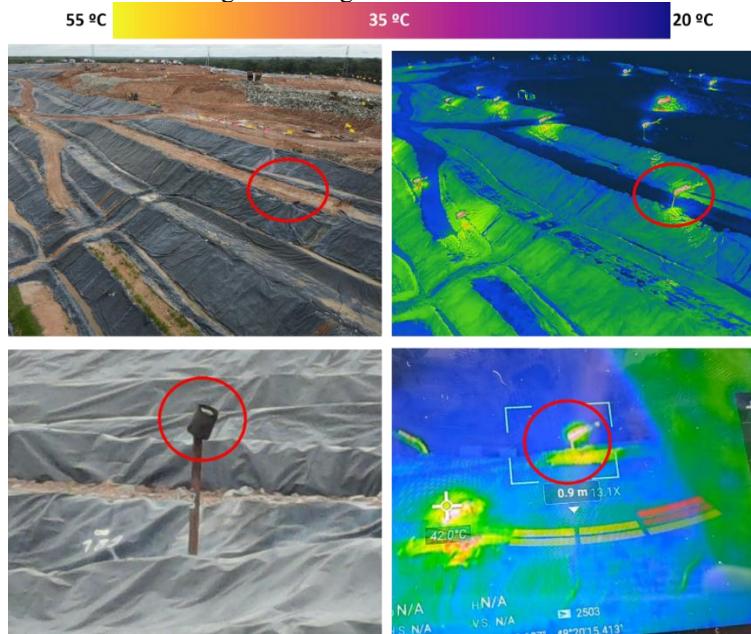


Fonte: Autor, 2024

Especificamente em relação à câmera térmica do SARP aplicada ao levantamento de dados no ARS-Guamá, observou-se um desempenho altamente satisfatório, especialmente pela capacidade de detectar focos de calor no maciço, provenientes dos sistemas de drenagem de gases. No caso do maciço do ARS-Guamá, o voo realizado com a câmera térmica possibilitou identificar com facilidade a rede de drenos verticais, interligados a drenos horizontais construídos na base do aterro, utilizados para a queima controlada dos gases gerados.

O sistema de drenos verticais desempenha papel essencial na redução das pressões internas do maciço, resultantes da geração de biogás, além de conduzir os efluentes ao local adequado de tratamento. Na Figura 25, observa-se o sistema de drenos verticais da CPTR-Marituba (ARS-Guamá), bem como a temperatura aferida pela câmera térmica do SARP. Na extremidade do sistema de drenagem de biogás, registrou-se uma temperatura de 42°C.

Figura 14 - Sistemas de drenagem de biogás do ARS-Guamá na câmera térmica de SARP



Fonte: Autor, 2024

A tecnologia de câmera térmica embarcada no SARP representa, assim, uma solução eficaz para leitura e localização de calor, por meio da detecção da radiação infravermelha emitida pelos objetos, permitindo determinar com precisão o ponto de origem térmica. Essa informação é crucial para o planejamento de ataque ao incêndio, contribuindo para a tomada de decisões rápidas e, consequentemente, salvando vidas. Dessa forma, a câmera térmica do SARP permite visualizar claramente as fontes de calor, consolidando-se como uma ferramenta essencial nas operações de busca, salvamento e combate a incêndios em aterros sanitários. Com o sobrevoo do SARP equipado com câmera térmica, é possível realizar um diagnóstico inicial por imagem, identificando focos de calor no maciço e monitorando alterações de temperatura na superfície do ARS-Guamá. Esse diagnóstico é obtido por meio da captação da radiação infravermelha emitida pelos sistemas de drenagem de biogás, resultando em uma imagem termográfica precisa.

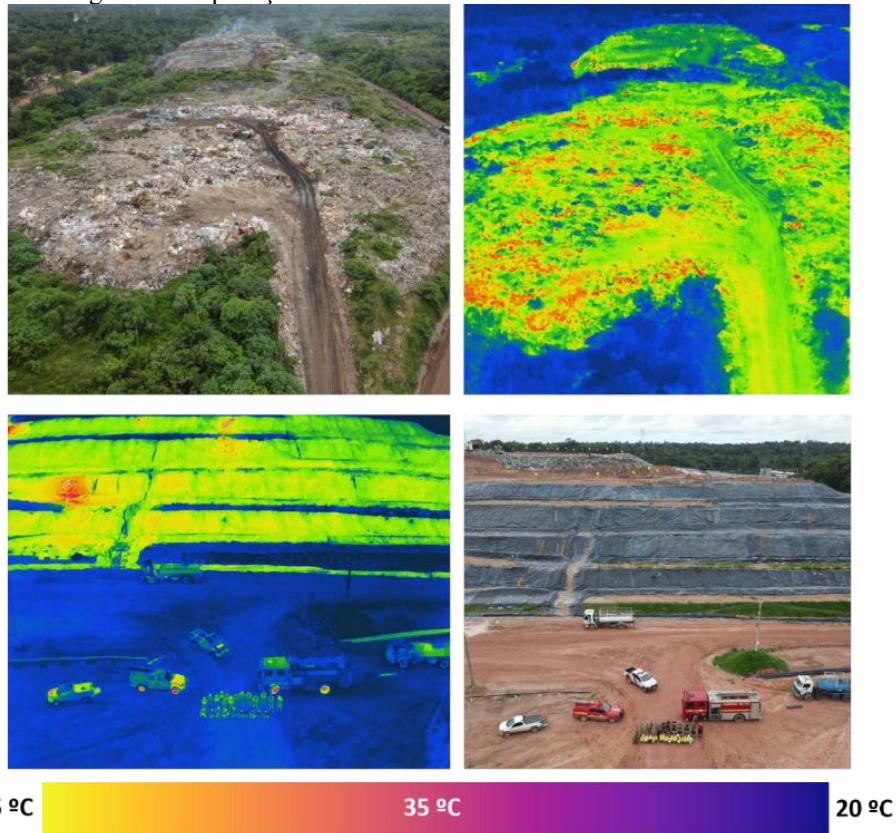
A termografia infravermelha do SARP constitui um método rápido e de baixo custo para a detecção de focos de calor ou incêndio, permitindo o deslocamento direcionado das equipes de bombeiros para execução das ações de controle e extinção do fogo. O exame termográfico, no contexto deste trabalho, tem como principal objetivo verificar as diferentes temperaturas no maciço e fornecer subsídios para a atuação operacional de combate.

O SARP, equipado com sensor térmico, permite identificar com precisão as áreas de chamas ativas, representadas pelas manchas vermelhas. Ainda na Figura 15, destacam-se os maciços dos aterros ASRS-Aurá e ASRS-Guamá representados em imagem lateralizada RGB (Red, Green, Blue) — a câmera convencional presente em todos os SARP, que capta imagens no espectro visível da luz (as cores

perceptíveis ao olho humano). A imagem RGB é, portanto, semelhante às registradas por câmeras fotográficas comuns. Contudo, embora a câmera RGB permita obter dados quantitativos da superfície, ela não é sensível às variações de temperatura, o que limita seu uso para análises térmicas.

Nesse contexto, as imagens térmicas do SARP apresentaram vantagem significativa, ao permitir a detecção rápida de pontos quentes que indicam possíveis focos de incêndio, possibilitando respostas mais ágeis e direcionadas a situações de risco. A Figura 15 ilustra o sobrevoo de monitoramento realizado nas áreas do ARS-Aurá e do ARS-Guamá, com câmeras RGB e térmica, destinadas à identificação de focos de incêndio ou alterações térmicas anormais, que podem indicar condições de risco iminente durante o posicionamento das viaturas do CBMPA para o combate ao fogo.

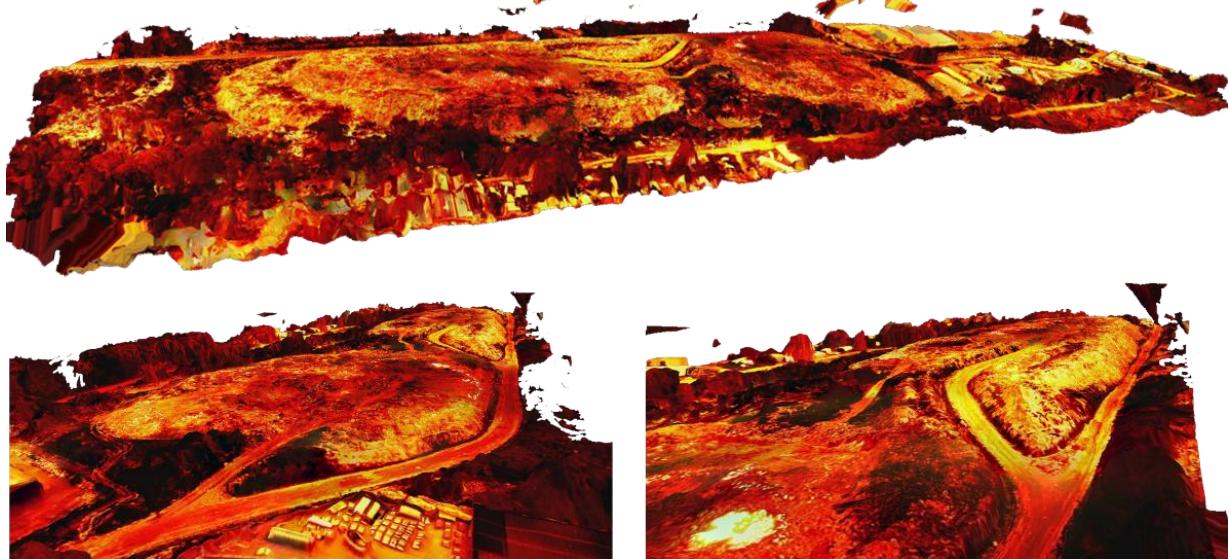
Figura 15 - Aplicação de câmera térmica de SARP nos ARSU-RMB



Fonte: Autor, 2024

Ainda com o uso de sobrevoos programados com o SARP equipado com câmera térmica, é possível gerar o Modelo Tridimensional (M3D), que proporciona uma visão geral e detalhada do aterro, inclusive em áreas de difícil acesso. Esse modelo oferece uma cobertura abrangente dos ARSU da RMB, permitindo identificar pontos estratégicos de acesso e planejar ações táticas de combate a incêndios com base em informações tridimensionais. Na Figura 16, observa-se o M3D térmico do ARS-Aurá, o qual fornece uma visão tridimensional da extensão do terreno e dos pontos estratégicos de acesso às áreas de interesse, incluindo os arruamentos do local.

Figura 168 - Aplicação de câmera térmica de SARP no ARS-Aurá



Fonte: Autor, 2024.

Os resultados obtidos a partir das análises inter-relacionadas dos produtos do SARP, tanto no ARS-Guamá quanto no ARS-Aurá, representam avanços significativos para o atendimento às normas de segurança contra incêndios, bem como para o monitoramento e a fiscalização conduzidos pelo Corpo de Bombeiros Militar do Pará (CBMPA). Com base nos produtos apresentados e analisados de forma integrada, é possível compreender de maneira mais precisa a realidade dos ARSU da RMB, especialmente sob a perspectiva da prevenção de incêndios de grandes proporções. Essas metodologias podem, ainda, ser ampliadas e aplicadas a outros complexos ou áreas de risco, consolidando um modelo de monitoramento preventivo e de resposta rápida.

O mapeamento tridimensional dos ARSU da RMB gera produtos de alta resolução e detalhamento, permitindo a visualização de elevações, declividades e obstáculos existentes no terreno. Tais recursos e aplicações do SARP auxiliam diretamente o planejamento das operações de combate a incêndios, ao permitir que as equipes visualizem a topografia do terreno e identifiquem pontos críticos e de risco. Essa abordagem contribui para a alocação mais eficiente de recursos por parte do CBMPA, uma vez que as equipes podem ser direcionadas com base em informações precisas e atualizadas fornecidas pelo SARP. Como resultado, há redução do tempo de resposta operacional e otimização de recursos financeiros e humanos durante as operações de combate a incêndios nos aterros da RMB.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho abordou o desafio do gerenciamento e combate ao fogo em aterros de resíduos sólidos urbanos, propondo uma abordagem inovadora baseada na aplicação do Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (SARP) como ferramenta tecnológica de apoio às ações do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Pará (CBMPA). Essa tecnologia demonstrou-se altamente eficaz na geração de

produtos geoespaciais de alta resolução, úteis para o planejamento tático e operacional de combate a incêndios, com ganhos significativos em eficiência, segurança e precisão das informações.

A utilização do SARP nos Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos (ARSU) do Aurá e do Guamá mostrou-se uma estratégia técnica robusta e inovadora, que permitiu o levantamento, o mapeamento, o diagnóstico e o monitoramento detalhado dessas áreas. A metodologia proposta revelou-se adequada às condições locais e eficiente na coleta, processamento e análise de dados georreferenciados, aplicáveis ao planejamento de combate e prevenção de incêndios na Região Metropolitana de Belém (RMB). Os resultados obtidos comprovaram o potencial do uso do SARP no mapeamento de áreas de risco e na produção de informações geoespaciais de alta precisão, com baixo custo operacional e grande flexibilidade temporal e espacial. Os produtos gerados, como ortomosaicos, modelos digitais de elevação (MDE), de terreno (MDT), modelos tridimensionais (M3D) e imagens térmicas, mostraram-se essenciais para a detecção, análise e acompanhamento de eventos térmicos, podendo ser empregados antes, durante e após as ocorrências de incêndio. Essa capacidade amplia a eficiência das ações de monitoramento e resposta, garantindo maior segurança às equipes do CBMPA e aos profissionais envolvidos nas operações.

Os levantamentos aéreos realizados com o SARP possibilitaram a construção de bases espaciais precisas e atualizadas, com delimitação do perímetro das áreas afetadas e geração de cartas imagem e mapas digitais. Esses produtos apresentaram alta qualidade técnica e confiabilidade, permitindo a obtenção rápida de dados e reduzindo significativamente a exposição humana a áreas de risco. Além disso, evidenciaram potencial de aplicação em perícias, possibilitando o levantamento detalhado de áreas queimadas, a aferição de volumes de resíduos e a análise de danos estruturais no maciço e no entorno do aterro.

A integração das imagens térmicas e ópticas proporcionou uma visão global e dinâmica do cenário de incêndio, contribuindo para a eficiência do Sistema de Comando de Incidentes (SCI). O monitoramento em tempo real da evolução das chamas, a identificação de múltiplos focos de calor e a análise da propagação do fogo ofereceram subsídios fundamentais para a tomada de decisão estratégica do CBMPA. Essa integração otimizou o planejamento e a resposta operacional, reduzindo o tempo de atuação e ampliando a segurança das guarnições e a efetividade no uso dos recursos disponíveis.

O estudo demonstrou uma proposta pioneira e de grande relevância prática para o Corpo de Bombeiros Militar do Pará, ao introduzir o uso sistemático de SARP equipados com câmeras térmicas no planejamento e execução de ações de combate a incêndios em aterros de resíduos sólidos urbanos. Essa abordagem tecnologicamente avançada mostrou-se eficiente na detecção precoce de focos de fogo e no gerenciamento de emergências ambientais complexas, contribuindo diretamente para a modernização das práticas de segurança e defesa civil.

A incorporação dos produtos geoespaciais gerados pelos SARP ao planejamento operacional do CBMPA representa um avanço significativo nas suas atividades institucionais. Os dados obtidos oferecem

informações precisas e atualizadas em tempo real, apoiando a tomada de decisão tática, a preservação ambiental e a segurança das operações de campo. Esses produtos fortalecem o processo de gestão integrada, permitindo que o CBMPA atue com maior previsibilidade e precisão nas ações de resposta a emergências. Dessa forma, esta pesquisa reforça a importância do uso de tecnologias emergentes de sensoriamento remoto e geoprocessamento como ferramentas fundamentais para o gerenciamento moderno e sustentável de áreas críticas.

No contexto da Região Metropolitana de Belém, que enfrenta desafios estruturais na gestão de resíduos, com a interdição do ARS do Guamá e a reativação do ARS do Aurá, ainda classificado como lixão a céu aberto, o emprego do SARP configura-se como uma solução inovadora, sustentável e indispensável para aprimorar a eficiência operacional e a segurança ambiental no enfrentamento de incêndios em aterros de resíduos sólidos urbanos.

Conclui-se, portanto, que o uso do SARP no gerenciamento de incêndios em aterros de resíduos sólidos urbanos representa não apenas um avanço tecnológico e científico, mas também uma contribuição concreta à segurança pública, à gestão ambiental e à proteção da vida. A metodologia proposta serve como modelo de aplicação integrada de geotecnologias voltadas ao monitoramento, prevenção e resposta a emergências ambientais, reafirmando o compromisso com a inovação, a eficiência e a sustentabilidade nas operações do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Pará e de outras instituições de defesa civil do país.

6 TRABALHOS FUTUROS

Considerando os resultados alcançados e as potencialidades observadas nesta pesquisa, recomenda-se a ampliação dos estudos envolvendo o uso de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) na gestão e monitoramento de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos (ARSU). As possibilidades de aprimoramento incluem tanto o avanço tecnológico das ferramentas de aquisição de dados, quanto a integração de novas metodologias de análise espacial e inteligência computacional.

Em primeiro lugar, sugere-se o aperfeiçoamento dos levantamentos com SARP, mediante o uso de sensores multiespectrais e hiperespectrais, capazes de ampliar a precisão na detecção de gases e hotspots térmicos associados à combustão e à decomposição de resíduos. Essa abordagem pode contribuir para a prevenção antecipada de incêndios e para a avaliação dos impactos ambientais decorrentes da liberação de gases tóxicos e de efeito estufa.

Outra perspectiva relevante consiste na integração dos dados obtidos pelos SARP a plataformas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em tempo real, por meio de sistemas de Internet das Coisas (IoT) e modelos baseados em nuvem, o que permitiria o monitoramento contínuo e automatizado dos ARSU. A adoção dessas tecnologias viabilizaria a criação de centros de controle operacional inteligentes, capazes de emitir alertas automáticos e otimizar a tomada de decisão pelas equipes do Corpo de Bombeiros Militar

do Estado do Pará (CBMPA) e órgãos de defesa civil.

Recomenda-se, ainda, a realização de ensaios experimentais controlados para validar a eficiência dos modelos de detecção térmica em diferentes condições ambientais, como variações sazonais, intensidade solar, umidade relativa e velocidade do vento. Esses experimentos poderão contribuir para o desenvolvimento de protocolos padronizados de operação de SARP em cenários de emergência, aumentando a confiabilidade dos dados e a segurança das missões de voo.

Adicionalmente, propõe-se a aplicação de técnicas de inteligência artificial (IA) e aprendizado de máquina (Machine Learning) para o processamento automatizado de imagens aéreas, de modo a aprimorar a classificação de áreas críticas, a identificação de padrões térmicos e o reconhecimento automático de focos de incêndio. Essa abordagem poderá reduzir o tempo de resposta operacional e oferecer apoio analítico em tempo real às ações de campo do CBMPA.

Por fim, recomenda-se o estabelecimento de parcerias institucionais entre universidades, órgãos ambientais, prefeituras e o Corpo de Bombeiros, visando a implementação de políticas públicas de monitoramento e gestão de resíduos baseadas em sensoriamento remoto e geotecnologias aplicadas. Tais parcerias poderiam contribuir para a modernização da gestão dos aterros e a mitigação de riscos ambientais, sobretudo na Região Metropolitana de Belém, que ainda enfrenta sérios desafios estruturais na destinação final dos resíduos sólidos urbanos. Em síntese, o avanço dos estudos nesta área tende a consolidar o uso dos SARP como ferramentas estratégicas de apoio à gestão ambiental e à segurança pública, promovendo uma atuação mais eficiente, sustentável e tecnicamente embasada no enfrentamento de incêndios em aterros de resíduos sólidos urbanos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial. -- Brasília: ANA, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS- ABRELPE: Panorama de resíduos sólidos no Brasil. São Paulo. 2014.
- AZEDO, A. C. L. Risco de Incêndio em Aterros de Resíduos Urbanos e Industriais e o seu Impacte Ambiental. 2013. Tese de Doutorado. 00500: Universidade de Coimbra. Disponível em:<<https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/99529>>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- BARSANO, P. R.; BARBOSA, R. P. Meio ambiente: guia prático e didático. Saraiva Educação SA, 2012.
- BRASIL. Lei Federal nº 12.305/2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União - DOU de 03/08/2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 28 mar, 2022.
- BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em:<https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 20 mai. 2018.
- BAHIA, V. E. Estudo hidrogeológico da área localizada entre o Depósito de Lixo Metropolitano de Belém (Aurá) e o Lago Água Preta. 2003. Disponível em:<<https://repositorio.ufpa.br/handle/2011/14813>>. Acesso em: 25 dez. 2023.
- CABRAL, A. V. Análise multicritério em Sistema de Informação Geográfica para localização de aterros sanitários. O caso da região sul da Ilha de Santiago, Cabo Verde. 2012. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa. Disponível em:<<https://run.unl.pt/handle/10362/8627>>. Acesso em: 22 out. 2022.
- CÂNDIDO, G. A.; BECK, C. G. B; CAMPELLO ARAÚJO, A. Problemática dos resíduos sólidos urbanos do município de joão pessoa: aplicação do modelo p-e-r. Qualitas Revista Eletrônica, [S.l.], v. 8, n. 3, nov. 2009. ISSN 1677-4280. Disponível em:<<http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/article/view/661/360>>. Acesso em: 26 out. 2022.
- CARMO, L. O.; DE MELO NOBRE, F. S.; RUIZ-ESPARZA, D. P. B. Geoprocessamento como ferramenta para a avaliação de áreas para a construção de aterros sanitários. Scientia Plena, v. 12, n. 7, 2016. Disponível em:<<https://scientiaplena.emnuvens.com.br/sp/article/view/2955>>. Acesso em: 27 out. 2022.
- CARMO, L. O.; DE MELO NOBRE, F. S.; RUIZ-ESPARZA, D. P. B. Geoprocessamento como ferramenta para a avaliação de áreas para a construção de aterros sanitários. Scientia Plena, v. 12, n. 7, 2016. Disponível em:<<https://scientiaplena.emnuvens.com.br/sp/article/view/2955>>. Acesso em: 05 jan. 2023.
- CHOMSKY, N.; VLTCHEK, A. Terrorismo ocidental: de hiroshima à guerra de drones. Autonomia Literária, 2022.
- DA SILVA, C. A.; REBINSKI, T. J.; TELES, S. P.; KRÜGER, G. T.; BARROS, M. M.; CORREA, A. D. O.; LOPES, A. B. Uso de drones para estimar o volume de resíduos sólidos aparentes e diagnosticar as condições ambientais de um aterro sanitário no litoral do estado do paraná-brasil. Revista Técnico-Científica, n. 25, 2021. Disponível em:<<https://revistatecie.creapr.org.br/index.php/revista/article/view/718>>. Acesso em: 19 jan. 2023.

DE OLIVEIRA SILVA, I.; TAGLIAFERRO, E. R.; DE OLIVEIRA, A. J. Gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares no município de Jales-SP e sua relação para com a política nacional de resíduos sólidos (PNRS). *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 1, p. 11475-11499, 2021. Disponível em:<<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/download/23999/19256/61857>>. Acesso em: 23 out. 2022.

DE QUEIROZ, D. M.; VALENTE, D. S. M.; DE CARVALHO PINTO, F. D. A.; BORÉM, A. (Eds.). (Ed.). *Agricultura digital*. Oficina de Textos, 2022.

DOS SANTOS, L. S. DRONES NO LEVANTAMENTO AMBIENTAL: Guia profissional para pilotos / Leonardo Santos. Belém: Edição independente, 2020 Primeira edição, 33p.; 29 cm - Belém: Livro Digital, GeoDigital, 2021.

DOS SANTOS, L. S. *Cartografia Sem Complicação* . Clube de Autores, 2024.

DOS SANTOS, L. S. Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada. *Operação Aérea Especial – OEA*. Classe 3. Clube de Autores, 2025.

DOS SANTOS, L. S. GEOTECNOLOGIA - SIG NA PRÁTICA. Aplicação em Focos de Calor, Clube de Autores, 2024.

DRONEDEPLOY. Introdução. 2023. Disponível em:<<https://www.dronedeploy.com/>>. Acesso em: 22 jan. 2023.

FEITOSA, M. M. S. Políticas de gestão e gerenciamento integrados dos resíduos sólidos urbanos no município de Água Branca-AL. 2020. Disponível em:<<http://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/8753>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

FITZ, P. R. *Geoprocessamento sem complicação*. São Paulo: Oficina do Texto, 2008.

FLORENZANO, T. G. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. Oficina de Textos, 2016.

FURTADO, V. *Tecnologia e gestão da informação na segurança pública*. Editora Garamond, 2002.

GOMES, M. G. Gestão de resíduos sólidos urbanos nas prefeituras municipais de Belém, Ananindeua e Marituba no período de 2015 a 2018. 2020. Disponível em:<<http://repositorio.ufpa.br/handle/2011/14359>>. Acesso em: 02 jan. 2023.

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência & saúde coletiva*, v. 17, p. 1503-1510, 2012.. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/csc/a/y5kTpqkqyY9Dq8VhGs7NWwG/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 26. out. 2022.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. *Estudos avançados*, v. 25, p. 135-158, 2011. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/ea/a/YgnDNBgW633Y8nfLF5pqLxc/?lang=pt>> Acesso em: 21 dez. 2022.

KARPINSK, L. A. Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental. Edipucrs, 2009.

LEAL, L. R. B.; BAHIA, V. E. Qualidade das águas naturais da área de localização da central de processamento e tratamento de resíduos urbanos da região metropolitana de belém-pa. Águas Subterrâneas, 2018. Disponível em:< <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29388>>. Acesso em: 12 set. 2022.

Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1009; e dá outras providencias. Data da legislação: 02/08/2010-Publicação DOU, de 03/08/2010. Disponível em: http://fld.co..br/catadores/pdf/politica_residuos_solidos.pdf Acesso em 20 de set. 2022.

Lei n. 12.305. Resolução CONAMA no 01, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre procedimentos relativos a Estudo de Impacto Ambiental. Data da legislação: 23/01/1986-Publicação DOU, de 17/02/1986, páginas 2548-2549. Disponível em . Acesso em 20 de set. 2022.

LONGHITANO, G. A. VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em:< <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-10012011-105505/en.php>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

LOURENÇO, R. W.; DA CUNHA, D. C.; SALES, J. C. A.; DE MEDEIROS, G. A.; OTERO, R. A. P. Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. Ciência e Natura, v. 37, n. 3, p. 122-140, 2015. Disponível em:< <https://www.redalyc.org/pdf/4675/467546194012.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2022.

LOURENÇO, R. W.; DA CUNHA, D. C.; SALES, J. C. A.; DE MEDEIROS, G. A.; OTERO, R. A. P. Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. Ciência e Natura, v. 37, n. 3, p. 122-140, 2015. Disponível em:< <https://www.redalyc.org/pdf/4675/467546194012.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

LUZ, D. D. Conflitos socioambientais e resíduos sólidos na Amazônia: aterro sanitário de Marituba-RMB/PA, quilombolas do Abacatal e o Movimento Fora Lixão. Orientador: FARIAS, André Luís Assunção. 2022. 133 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia) - Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Belém, 2022. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/14848>>. Acesso em: 10 jan, 2023.

OLIVEIRA, A. H. P. Metais pesados nos arredores de depósitos de lixo de Belém, PA. 1997. Disponível em:<<https://repositorio.ufpa.br/handle/2011/11402>>. Acesso em: 10 nov. 2023.

MARQUES, M. D. Seleção de área para implantação de aterro sanitário simplificado – Estudo de caso para município de Guapo-Go. 2011. 77 f. Dissertação (mestrado em engenharia do meio ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiás.

MARTINS, J. D. D. Sociedade de risco e meio ambiente: danos provocados pelo hiperconsumo e a eficiência da tributação ecologicamente dirigida. Revista de Direito, Globalização e Responsabilidade nas Relações de Consumo, v. 7, n. 1, p. 1-19, 2021. Disponível em:< <https://scholar.archive.org/work/jmuskvpdhfgatkfinmsjilmhou/access/wayback/https://indexlaw.org/index.php/revistadgrc/article/download/7576/pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

MATSUOKA, J. V.; FERNANDES, N. R. P. Implementação de um sistema de informações geográficas (sig) para o monitoramento do aterro sanitário da cidade monte carmelo-mg. Revista GeTeC, v. 7, n. 15, 2018. Disponível em:< <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/1366> >. Acesso em: 05 jan. 2023.

NAGALLI, A. Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil. Oficina de Textos, 2016.

PEREIRA, S. S. A problemática dos resíduos sólidos urbanos e os instrumentos de gestão do meio ambiente na cidade de Campina Grande/PB. Âmbito Jurídico, Rio Grande, XIV, n. 93, 2011. Disponível em:<<https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-ambiental/>>. Acesso em: 12 dez 2022.

PORTELLA, M. O.; RIBEIRO, J. C. J. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. Revista Direito Ambiental e Sociedade, v. 4, n. 1, 2014. Disponível em:<<https://revistas.cesgranrio.org.br/index.php/metaavaliacao/article/view/3236>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

QUINTAS, José Silva. Introdução à gestão ambiental pública. Brasília: Ibama, 2005.

RIBEIRO, V. R. A. Análise comparativa do lixiviado bruto gerado em um aterro sanitário e o acumulado em uma lagoa de tratamento por evaporação natural. Amplla Editora, 2019.

RODRIGUES, D. A.; GALLARDO, A. L. C. F. Vantagens da aerofotogrametria por drone na obtenção de dados topográficos em estudos de lixões e aterros sanitários. VII Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade. Anais. São Paulo, 2018. Disponível em:<<http://www.singep.org.br/7singep/resultado/209.pdf>>. Acesso em: 25 out, 2022.

SANTOS, L. S. Drone no Levantamento Ambiental – Guia para Pilotos Iniciantes – Ebook (Livro eletrônico): Versão 2021 / Leonardo Sousa dos Santos. – 1. Ed. – Belém, PA: GeoDigital, 2021.

SEARA, A. K. T.; GONÇALVES, M. A.; AMEDOMAR, A. D. A destinação final dos resíduos sólidos urbanos: alternativas para a cidade de São Paulo através de casos de sucesso. Future Studies Research Journal: Trends and Strategies, v. 5, n. 1, p. 96-129, 2013. Disponível em:<<https://futurejournal.org/FSRJ/article/view/112>>. Acesso em: 23 jan. 2023.

TRIGUEIRO, A,. Mundo sustentável: abrindo espaço na mídia para um planeta em transformação. Globo Livros, 2005.

VALE, M., MIRANDA, J.; SARDINHA, A.; COSTA, P.; SANTOS, J. Avaliação da gestão de resíduos sólidos na cidade de Belém no Estado do Pará. In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2011. p. 209-210. Disponível em:<<https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento41/TrabalhosCompletosPDF/I-036.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2022.

VIEIRA, E. A. A questão ambiental do resíduo/lixo em Ribeirão Preto (SP). Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 4, n. 4, p. 170, 2011. Disponível em:<<http://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/18073>>. Acesso em: 17 dez. 2022.

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento conceitos e definições. Revista de Geografia-PPGEO-UFJF, v. 7, n. 2, 2017. Disponível em:<<http://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/18073>>. Acesso em: 12 jan. 2023.