



## SENSORIAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA DE MONITORAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Núbia Araújo Sena (\*), Igor de Castro Sousa, Juliana Gonçalves de Sousa, Karoline de Sousa Almeida, Marcos Pereira da Silva

\*Instituto Federal do Piauí, nubia.sena@live.com

### RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar o uso do sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento espaço-temporal da mancha da área, bem como analisar a temperatura de superfície do lixão de Pedro II e do aterro controlado de Parnaíba no Piauí, em um intervalo de tempo de dez anos. A metodologia utilizada consistiu de aquisição e processamento digital de imagens de satélite e pesquisa bibliográfica para fundamentar os resultados. Constatou-se que houve aumento e variação de tonalidade e tamanho da mancha da área do lixão de Pedro II e no aterro de Parnaíba além de uma cicatriz de fogo em forma de L no lixão, provavelmente consequência do incêndio ocorrido. No aterro de Parnaíba notou-se uma mancha escura na parte final da área, o que pode ser corpo líquido de material lixiviado ou água acumulada de chuva dias antes da captação da imagem, o que pode indicar que nas datas de passagem do satélite nos anos de 2009 e 2014, o aterro estava com uma cobertura maior de solo. No monitoramento de temperatura de superfície do lixão de Pedro II, constatou uma diferença no aumento de temperatura de quase 2 °C e no monitoramento do aterro de Parnaíba, uma diferença redução de temperatura de 1° C nos últimos 10 anos. Dessa forma, conclui-se que o sensoriamento remoto aliado a técnica de tratamento e processamento digital de imagens mostrou-se como uma ferramenta útil e de baixo custo para a realização do monitoramento ambiental e pode servir como subsídio para os setores públicos responsáveis pela gestão de áreas de aterro controlado e lixões.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geoprocessamento. Análise Espaço-Temporal. Temperatura de Superfície. Monitoramento Ambiental.

### ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the use of remote sensing as a spatio-temporal monitoring tool for the area stain, as well as to analyze the surface temperature of the Pedro II dump and the controlled landfill of Parnaíba in Piauí, in a time interval of ten years. The methodology used consisted of acquisition and digital processing of satellite images and bibliographic research to support the results. It was found that there was an increase and variation in shade and size of the spot in the Pedro II dump area and in the Parnaíba landfill, in addition to an L-shaped fire scar in the dump, probably a consequence of the fire that occurred. At the Parnaíba landfill, a dark spot was noted in the final part of the area, which may be a liquid body of leachate material or water accumulated from rain days before the image was captured, it may indicate that on the satellite passage dates in the years In 2009 and 2014, the landfill had greater soil coverage. In the surface temperature monitoring of the Pedro II dump, he noticed a difference in the temperature increase of almost 2 °C and in the monitoring of the Parnaíba landfill, a difference in temperature reduction of 1° C in the last 10 years. Thus, it is concluded that remote sensing combined with digital image processing and processing technique proved to be a useful and low cost tool for carrying out environmental monitoring and can serve as a subsidy for public sectors responsible for managing controlled landfill areas and dumps.

**KEY WORDS:** Geoprocessing. Space-Time Analysis. Surface Temperature. Environmental Monitoring.

### INTRODUÇÃO

Com o expressivo crescimento e desenvolvimento urbano nos últimos anos, a temática do lixo tem se tornado cada vez mais emergente, visto que, é uma consequência do acelerado consumo nas cidades e o seu não tratamento adequado gera problemas de ordem social, política e ambiental.

O lixo é um material que está presente no cotidiano da sociedade no geral, podendo ser, para muitos, a fonte da renda no equilíbrio e manutenção familiar. Todavia, sua deposição inadequada o torna causador de consequências negativas ao meio ambiente (SILVA et al, 2018).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi sancionada pela lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 com o objetivo de organizar a forma com que o país lida com o lixo e uma das metas da referida lei é a eliminação e recuperação de

lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis (BRASIL, 2010).

O monitoramento ambiental é a supervisão sistemática e o conhecimento a respeito da situação dos recursos ambientais dos meios físicos e bióticos, cujo objetivo é a recuperação, melhoria ou manutenção da qualidade ambiental (MMA, 2009). Desse modo, o monitoramento ambiental serve como subsídio na gestão e no planejamento por parte do setor público, no que diz respeito a definição das políticas ambientais.

No Geoprocessamento, uma das geotecnologias bastante utilizada é o Sensoriamento Remoto, que é usado para estudar dados da Terra remotamente, através da aplicação de técnicas de processamento digital de imagens de satélite e, concordando com Coelho e Correa (2013) o sensoriamento remoto vem adquirindo nas últimas décadas grande aceitação no meio acadêmico em função do acesso a hardwares, softwares e produtos gratuitos como as imagens de satélites, dados interferométricos, entre outros, complementando as análises e aplicações, a exemplo das pesquisas geográficas.

O Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento têm se tornado ferramentas de extrema relevância no que se diz respeito a estudos voltados a aquisição de áreas, análise e monitoramento dos impactos ambientais. Essas tecnologias facilitam a coleta, o gerenciamento e a visualização espacial e temporal de dados relevantes, melhorando significativamente os diagnósticos ambientais (SILVA et al, 2018).

Dessa forma, é de fundamental importância o monitoramento ambiental em áreas de deposição de resíduos sólidos, uma vez que, proporciona controle e ajuda a auxiliar a gestão dessas áreas, afim de garantir a qualidade de vida dos seres vivos que residem próximo e dos fatores abióticos do ambiente (radiação solar, ar, água, temperatura, composição do solo, etc).

## OBJETIVO

No presente trabalho, objetiva-se analisar o uso do sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento espaço-temporal da mancha da área, bem como analisar a temperatura de superfície do lixão de Pedro II e do aterro controlado de Parnaíba no Piauí, em um intervalo de tempo de dez anos.

## CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

O município de Parnaíba está localização na mesorregião do Litoral Piauiense, e o município de Pedro II está localizado na mesorregião Centro-Norte Piauiense, limitando-se a Leste com o estado do Ceará. O lixão e o aterro controlado localizam-se na área rural dos referidos municípios, conforme ilustra a Figura 1.

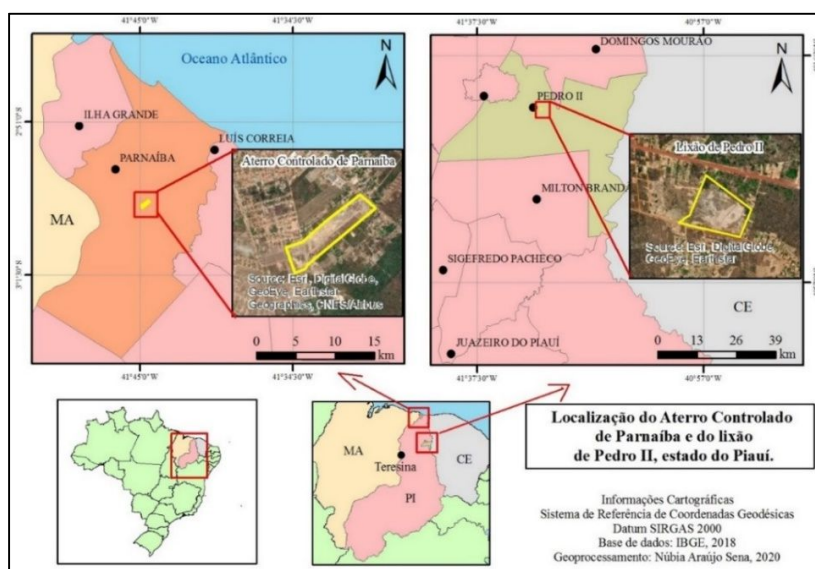


Figura 1. Mapa de localização das áreas de estudo. Fonte: Autores do Trabalho.

Antes de descrever as áreas de estudo, é necessário entender o que elas são. Conforme mostra os mapas de Vilanova Neta (2011), o município de Pedro II possui um vazadouro a céu aberto com um volume total de lixo coletado 3,6 a 10,0 toneladas por dia. Possui uma área de 8,67 ha e perímetro de 1,26 km, de acordo com mapeamento dos autores.



Lixão ou vazadouro a céu aberto, é um local de disposição inadequada de resíduos sólidos sobre o solo, sem qualquer tratamento prévio de coleta e sem tratamento de líquidos percolados e gases resultantes da deterioração dos resíduos sólidos, causando poluição do solo, água e ar (MENESES, SOUSA E FERNANDES, 2008).

O vazadouro a céu aberto de Pedro II foi construído na década de 1980, fica localizado na área rural do município, próximo a um povoado denominado de Aroeira, e por conta disso, é popularmente conhecido como 'lixão da Aroeira' (PMPII, 2018; MARTINS, 2017).

O estado do Piauí não possui nenhum aterro sanitário e conta com seis aterros controlados em todo o seu território, sendo o aterro controlado de Parnaíba o segundo maior (atrás somente do aterro de Teresina), com um volume total de lixo de 120,1 a 500,0 toneladas por dia (VILANOVA NETA, 2011). Compreende uma área de 29,14 ha e perímetro de 2,83 km, possuindo assim, uma área mais de três vezes maior que o lixão de Pedro II.

Aterro controlado compreende o local de destinação final de resíduos sólidos, onde a contenção dos resíduos é feita com o recobrimento periódico do lixo com material inerte (MENESES, SOUSA E FERNANDES, 2008). O aterro controlado de Parnaíba foi inaugurado provavelmente, em meados do ano de 2004 e fica localizado às margens da BR 402, que dá acesso ao estado do Ceará, na área rural do município.

## METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, primeiramente, foram adquiridas imagens do satélite Landsat 5 e do Landsat 8, nos anos de 2009, 2014 e 2019, disponibilizadas gratuitamente no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

As imagens utilizadas para as composições coloridas RGB em falsa cor foram as bandas 6, 5 e 4 e para o processamento da temperatura de superfície, foram utilizadas a banda 6 (infravermelho termal do sensor TM) do satélite Landsat 5, com resolução geométrica de 120 m e intervalo espectral 10,4 - 12,5  $\mu\text{m}$ , em datas de passagem do ano de 2009 e a banda 10 (infravermelho termal do sensor TIRS1) do satélite Landsat 8 que é a banda do infravermelho termal do sistema imageador Thermal Infrared Sensor - TIRS com duas bandas de pixel de 100 metros, processadas e disponibilizadas em 30 metros e que possui sensibilidade espectral de 10.6 - 11.19  $\mu\text{m}$  (USGS, 2020). A banda do infravermelho termal de satélite Landsat 8 apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.

O segundo passo metodológico foi a correção geométrica das imagens, utilizando o Sistema de Informação Geográfica - SIG Qgis (software livre), versão 3.4.15, utilizando a reprojeção das camadas para sistema de referência de coordenadas geodésicas SIRGAS 2000 (EPSG: 4674), não sendo necessário fazer o georreferenciamento pois as imagens já são ortoretificadas (padrão Nível 1).

O terceiro passo metodológico foi o uso dos parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância espectral, também denominada de calibração radiométrica, realizado através da equação 1 realizados na calculadora raster do Qgis, conforme explicado na tabela 1.

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL$$

equação (1)

**Tabela 1. Elementos e valores da fórmula de conversão para radiância do metadados da imagem do Landsat - 5, banda 6 e Landast - 8, banda 10.**

Fonte: USGS, 2020.

Elemento	Significado	Banda 6	Banda 10
$L\lambda$	Radiância espectral do sensor de abertura em watts/ ( $\text{m}^2 \text{sr} \mu\text{m}$ )	-	-
ML	Fator multiplicativo de redimensionamento da banda utilizada	5.5375E-02	3.3420E-04
AL	Fator de redimensionamento aditivo específico da banda utilizada	1.18243	0.10000
$Q_{cal}$	Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda utilizada	-	-

Calculado a transformação dos valores de radiância espectral, aplicou-se a equação 2 para transformar os valores obtidos da primeira equação em temperatura de valor em Kelvin, juntamente com a conversão para Celsius, conforme é exposto na tabela 2.

$$TC = (K2 / \ln(K1 / L \lambda + 1)) - 273,15 \quad \text{equação (2)}$$

**Tabela 2. Elementos e valores da constante de calibração extraídos do metadados Landsat 5 – banda 6 e Landsat – 8, banda 10.**

Fonte: USGS, 2020.

Elemento	Significado	Banda 6	Banda 10
TC	Temperatura efetiva no satélite em Celsius	-	-
K2	Constante de calibração 2	1260.56	1321.08
K1	Constante de calibração 1	607.76	774.89
Lλ	Radiância espectral do sensor de abertura em watts/ (m <sup>2</sup> sr μm)	-	-

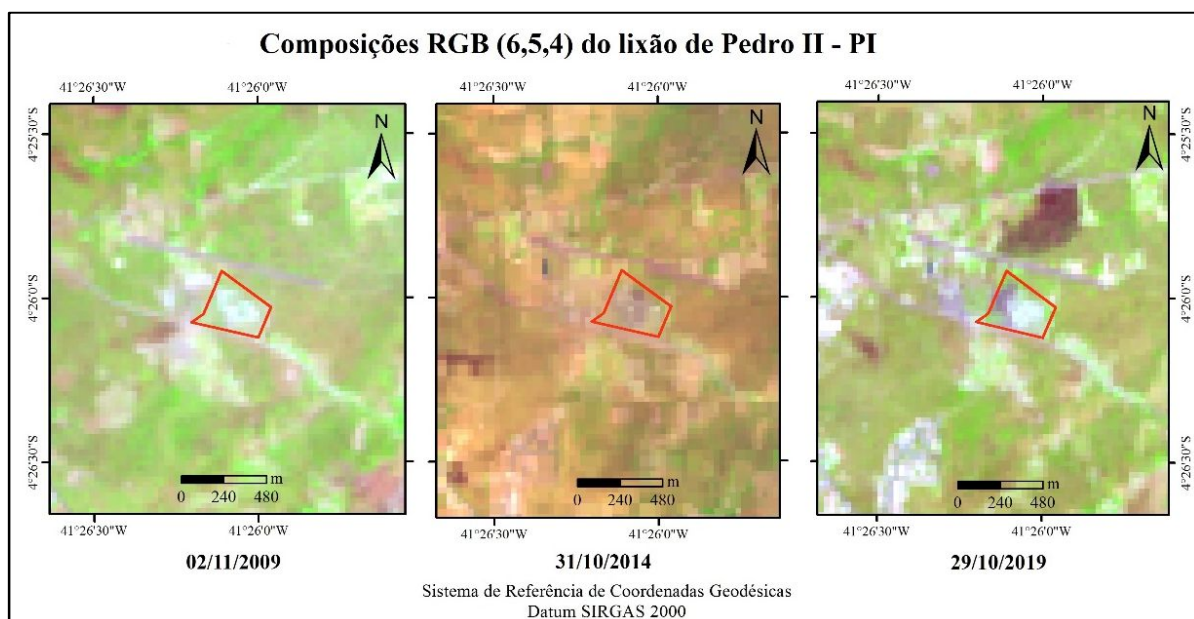
Feitos os cálculos de temperatura, o quarto procedimento metodológico foi a realização do recorte da imagem, compreendendo apenas o perímetro dos municípios, com um arquivo vetorial obtido no site do IBGE.

## RESULTADOS

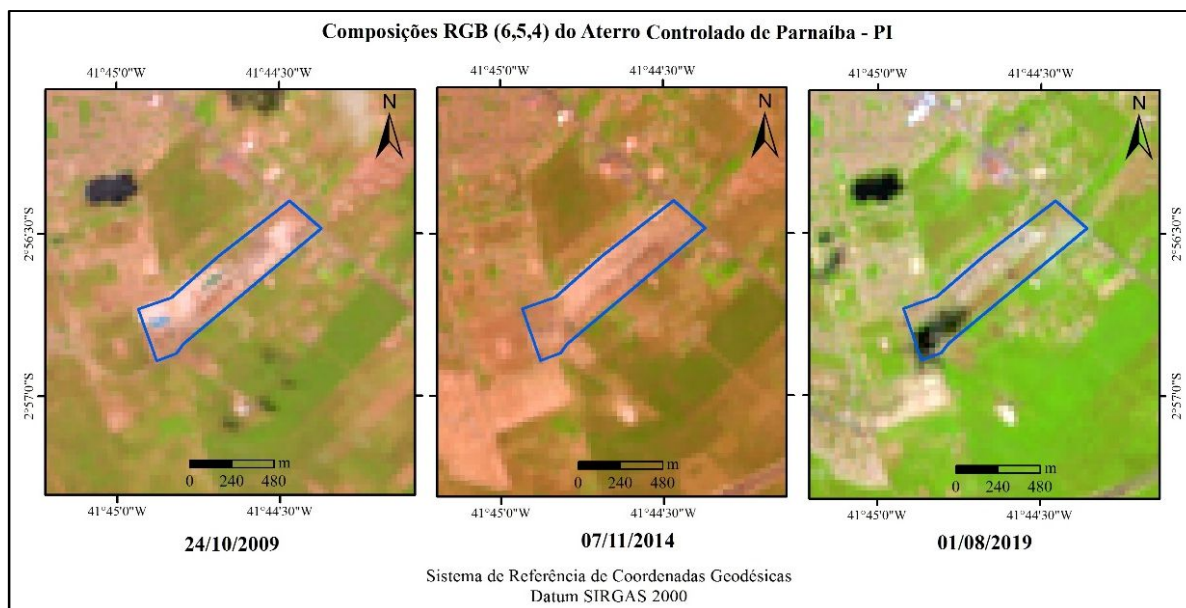
As Figuras 2 e 3 mostram as composições coloridas RGB em falsa cor, das áreas de estudo em uma variação espaço-temporal de cinco em cinco anos, em datas dos anos de 2009, 2014 e 2019.

O critério de escolha das imagens foi de que elas possuíssem o mínimo de nuvens possíveis e em datas próximas. Nota-se que na composição colorida do aterro controlado de Parnaíba, a imagem de 2019 foi de uma data um pouco distante das imagens de 2014 e 2009, pois não foram encontradas imagens sem nuvens nos meses de outubro e novembro.

Dificuldades são encontradas em relação a aquisição de imagens para o monitoramento de aterros sanitários ou controlados, principalmente em regiões litorâneas. A elevada presença de nuvens ainda é um grande obstáculo para as diferentes aplicações do sensoriamento remoto (SILVA, et al, 2018).



**Figura 2. Composição RGB do lixão de Pedro II – PI em diferentes datas. Fonte: Autores do trabalho.**



**Figura 3. Composição RGB do Aterro controlado de Parnaíba – PI em diferentes datas. Fonte: Autores do trabalho.**

Analisando a Figura 2, percebe-se o aumento e variação de tonalidade e do tamanho da mancha da área do lixão de Pedro II. De acordo com a pesquisa de Gomes (2011) o destino final dos resíduos sólidos em Pedro II se constitui em um problema ambiental, pois o aterro não é licenciado e tampouco cumpre as normas existentes para aterro sanitário.

Na pesquisa de Carvalho (2015), foi constatado que não existe coleta seletiva de lixo e nem reciclagem, o lixo da cidade é despejado em um lixão a céu aberto, que está próximo a área urbana e sem estudo de impacto ambiental para sua instalação. Dessa forma, vê-se a permanência da problemática ambiental dos resíduos sólidos em Pedro II.

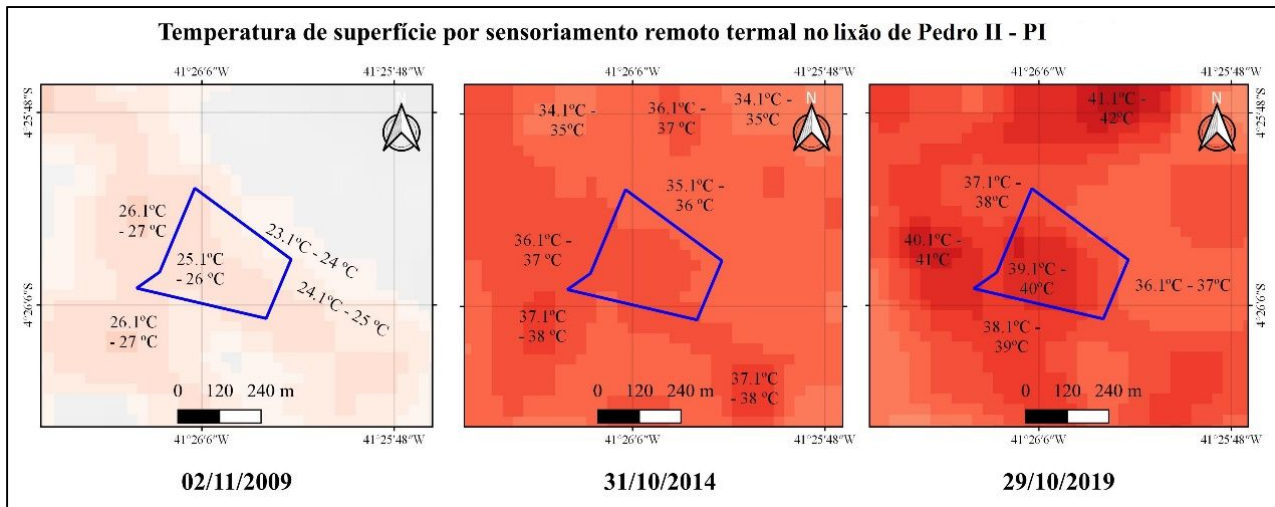
Ainda analisando a Figura 2, nota-se uma mancha mais escura em forma de “L” inclinado na composição colorida em falsa cor na imagem de outubro de 2019, que pode ser uma cicatriz de fogo, pois o aterro sofreu um incêndio no dia 17 de setembro de 2019.

O incêndio no lixão de Pedro II já é um fato recorrente. Segundo pesquisas nos mais diversos sites locais de notícias, de 2012 até o momento, o lixão já incendiou pelo menos oito vezes, e em alguns anos, mais de duas vezes no mesmo ano. Isso é um problema de alto impacto, pois a fumaça tóxica gera desconforto na população atingida, causando dificuldades respiratória, além de poluir o ar.

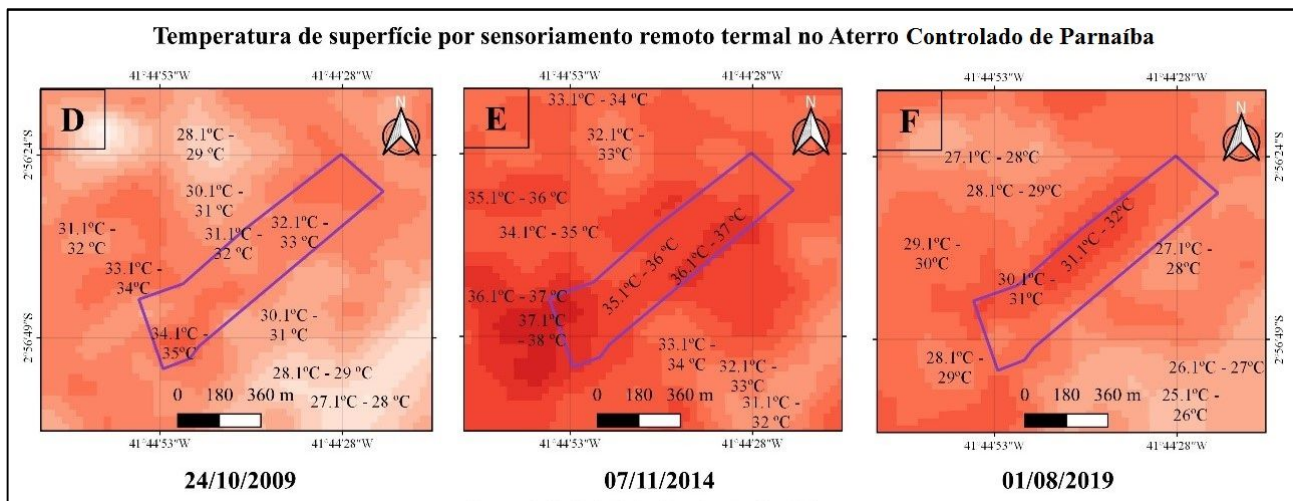
A Figura 3 mostra a composição colorida em falsa cor do aterro controlado de Parnaíba. O que chama atenção na imagem de 2019 é a mancha escuro na parte final do aterro, o que pode ser uma massa líquida (acúmulo de água ou de chorume) além da variação de tamanho da mancha dos resíduos. Isso pode indicar que nas datas de passagem do satélite nos anos de 2009 e 2014, o aterro estava com uma cobertura maior de solo.

Portanto, o aterro controlado de Parnaíba, aparentemente cumpre com as normas existentes para tal tipo, enquanto que o vazadouro a céu aberto de Pedro II está em desacordo com a PNRS (2010), que exige a extinção de lixões, o que confirma a análise de Gomes (2011) e Carvalho (2015) em suas pesquisas.

Feita a análise espaço-temporal da mancha do lixão e do aterro controlado via composição RGB das imagens de satélites, foi realizado o monitoramento da temperatura de superfície, conforme ilustram as Figuras 4 e 5.



**Figura 4. Monitoramento da temperatura de superfície no lixão de Pedro II – PI. Fonte: Autores do trabalho.**



**Figura 5. Monitoramento da temperatura de superfície no aterro controlado de Parnaíba– PI. Fonte: Autores do trabalho.**

Verificando a Figura 4, se vê o aumento significativo da temperatura de superfície do lixão de Pedro II nas três datas de passagens, com uma diferença de 15°C a mais na área mais quente no ano de 2019, ao se comparar a imagem de 2009. Na Figura 5, percebe-se que, ao contrário do lixão de Pedro II, o aterro controlado de Parnaíba teve uma redução de temperatura na área mais quente e ao comparar a imagem de 2009 com a de 2019, observa-se uma redução de 3° C na área mais quente. Os dados da Tabela 3 foi realizada para se ter uma análise quantitativa das oscilações na temperatura de superfície do lixão de Pedro II e no aterro controlado de Parnaíba.

**Tabela 3. Variações de temperatura no lixão de Pedro II e aterro controlado de Parnaíba.**

Fonte: Autores do trabalho.

Mapas da Figura 4 e 5	Ponto mais quente	Ponto mais frio	Ponto médio	Diferença	Área
Imagem A 2009	26	23	24,5	3	Lixão de Pedro II
Imagem B 2014	37	35,1	36,05	1,9	Lixão de Pedro II
Imagem C 2019	41	36,1	38,55	4,9	Lixão de Pedro II
Imagem D 2009	35	30,1	32,55	4,9	Aterro de Parnaíba
Imagem E 2014	38	34,1	36,05	3,9	Aterro de Parnaíba
Imagem F 2019	32	28,1	30,05	3,9	Aterro de Parnaíba



O lixão de Pedro II no ano de 2009, teve uma diferença de 3°C entre o ponto mais frio e ponto mais quente. No ano de 2014, teve uma redução na diferença de temperatura, que foi de 1,9°C, porém, teve um aumento de 11°C ao se comparar o ponto mais quente da imagem de 2009 com a de 2014. No ano de 2019, observa-se uma maior diferença de temperatura, que foi de quase 5°C entre o ponto mais quente e mais frio captado, todavia, vê-se um aumento de 4°C ao se comparar o ponto mais quente da imagem de 2014 com a de 2019.

O aterro controlado de Parnaíba no ano de 2009 teve uma diferença de quase 5°C entre o ponto mais frio e o mais. Já em 2014, essa diferença diminuiu 1°C, foi no total um valor de 3,9°C entre o ponto mais frio e mais quente, porém houve um aumento de 3°C ao se comparar os pontos mais quente de 2009 com o 2014. E no ano de 2019, teve uma redução de 3°C entre os pontos mais quentes de 2014 e 2019, porém a diferença de temperatura foi a mesma de 2014, que foi de 3,9°C.

Os resultados de monitoramento evidenciaram a importância do sensoriamento remoto na captação de temperatura. O lixão de Pedro II requer atenção por parte do poder público, pois teve um expressivo aumento de temperatura nos últimos 10 anos, além de ser proibido sua utilização, instituída sua extinção através do Plano Nacional de Resíduos Sólidos em 2010 e pelo fato de sofrer incêndios frequentemente.

Ao comparar os monitoramentos de temperaturas do lixão de Pedro II com o aterro controlado de Parnaíba, é notória que o aterro controlado apresentou pontos mais quentes de menor temperatura. Isso mostra que o aterro controlado é mais recomendado e menos prejudicial ao meio ambiente no tratamento de resíduos sólidos, pois além de ter certo controle de temperatura, não fica totalmente a céu aberto, proliferando mau cheiro e outros impactos para a população próxima, pois é feito recobrimento dos resíduos com solo.

## CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos e discutidos, conclui-se que o monitoramento de áreas de destinação e tratamento de resíduos sólidos é relevante, pois o principal objetivo é fazer o controle do uso, planejamento e manejo da área em prol da qualidade de vida ambiental.

A existência e uso do lixão de Pedro II nos dias atuais, ainda se configura como uma problemática ambiental na cidade, principalmente para a comunidade que reside próximo a essa área. É necessário a desativação e tratamento do solo urgente do referido lugar, pois está contrapondo a legislação que exige a extinção e prejudicando a população, principalmente quando o local sofre incêndios.

Apesar do aterro controlado de Parnaíba ter se mostrado menos agressivo ao meio ambiente que o lixão de Pedro II, ainda não é a escolha ideal para tratamento de resíduos sólidos urbanos. O mais recomendável é o aterro sanitário, por conta de que os impactos são menores, além de proporcionar um tratamento melhor para os resíduos sólidos.

O sensoriamento remoto aliado a técnica de tratamento e processamento digital de imagens mostrou-se como uma ferramenta útil e de baixo custo para a realização do monitoramento ambiental e pode servir como subsídio para os setores públicos responsáveis pela gestão de áreas de aterro controlado e lixões.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brasil. **Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
2. Carvalho, C. A. **O papel do APL da opala de Pedro II, Piauí, na estruturação do turismo mineral do município**. 2015. 179 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
3. Coelho, A. L. N; Correa, W. S. C. Temperatura de superfície celsius do sensor tirs/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geografia Acadêmica**, Boa Vista, v. 7, n. 1, p.31-45, 2013.
4. Gomes, D. O. B. **Mineração, turismo e ambiente em Pedro II, Piauí**. 2011. 281 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2011.
5. Martins, E. **Incêndio no Lixão em Pedro II foi ato de vandalismo**. Portal o Dia: 2017. Disponível em: <https://www.portalodia.com/municipios/pedro-ii/incendio-no-lixao-em-pedro-ii-foi-ato-de-vandalismo-309816.html>. Acesso: 01 de março de 2020.
6. Meneses, H. B; Sousa, V. M. P. L; Fernandes, F. J. S. **Cartilha Técnica: planejamento, construção e operação de aterros para a disposição final de resíduos sólidos**. 1ª ed. Teresina: TCE-PI, 2008.



7. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Programa Nacional do Meio Ambiente II - Fase 2**. 2009. Disponível em: [https://www.mma.gov.br/estruturas/pnma/\\_arquivos/04\\_02\\_manual\\_monitor\\_amb\\_jul09\\_6.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/pnma/_arquivos/04_02_manual_monitor_amb_jul09_6.pdf). Acesso: 25 de fevereiro de 2020.
8. Monteiro, J. H. P. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.
9. Prefeitura Municipal de Pedro II (PMPPII). **Prefeitura de Pedro II discute destinação do lixo com moradores da comunidade Aroeira**. 2018. Disponível em: <http://pedroii.pi.gov.br/noticia/1139/.html#.Xm1YX6hKjIU> Acesso em: 13. mar. 2020.
10. Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). **Missões Landsat: Landsat 5**. 2020. Disponível em: [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-5?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-5?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con) Acesso em 20. jan. 2020.
11. Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). **Missões Landsat: Landsat 8**. 2020. Disponível em: [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con). Acesso em 20. jan. 2020.
12. Silva, J. F; Silva, R. K. A; Paz, Y. M; Reis, J. V; Ferreira, H. S; Candeias, A. L. B. Avaliação do sensoriamento remoto termal para monitoramento de aterros sanitários. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 3, n. 1, p.38.48, 2018.
13. Vila Nova Neta, M. A. **Manejo de resíduos sólidos**. In: IBGE. Atlas de saneamento. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.