



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JOSÉ LEANDRO VIEIRA SANTANA

**ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA DE PAU DOS FERROS-RN POR MEIO DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

PAU DOS FERROS – RN
2021

JOSÉ LEANDRO VIEIRA SANTANA

**ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA DE PAU DOS FERROS-RN POR MEIO DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Banca Examinadora do curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, da Universidade Federal Rural do Semiárido em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Alex Pinheiro Feitosa

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S231a Santana, José Leandro Vieira.
Análise da expansão urbana de Pau dos Ferros-
RN por meio de sensoriamento remoto / José Leandro
Vieira Santana. - 2021.
34 f. : il.

Orientador: Alex Pinheiro Feitosa.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2021.

1. Crescimento Urbano. 2. Imagens de
Satélites. 3. Classificação Supervisionada. I.
Feitosa, Alex Pinheiro, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JOSÉ LEANDRO VIEIRA SANTANA

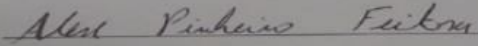
**ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA DE PAU DOS FERROS-RN POR MEIO DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Banca Examinadora do curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, da Universidade Federal Rural do Semiárido em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Alex Pinheiro Feitosa

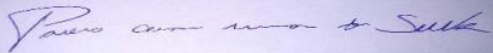
Aprovado em: 16/11/2021

BANCA EXAMINADORA:

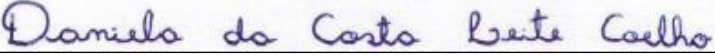


Alex Pinheiro Feitosa
Docente
Mat. SIAPE: 1166949

Prof. Dr. Alex Pinheiro Feitosa (UFERSA)
Presidente



Prof. Dr. Paulo Cesar Moura da Silva (UFERSA)
Membro Examinador



Prof^ª. Dra. Daniela da Costa Leite Coelho (UFERSA)
Membro Examinador

RESUMO

O presente trabalho objetivou analisar a expansão urbana de Pau dos Ferros, estado brasileiro do Rio Grande do Norte, no período entre os anos de 2000 e 2020, por meio de imagens de sensoriamento remoto, buscando mapear e quantificar a mancha urbana, bem como identificar as formas de crescimento e os principais impactos gerados no referido município. Foram confeccionados mapas da expansão urbana utilizando o método de classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança (MAXVER) no software livre e gratuito QGIS, a partir das imagens de sensoriamento remoto dos satélites Landsat 7 (sensor ETM+) e Landsat 8 (sensor OLI), datadas de 02 de outubro de 2000 e 17 de outubro de 2020, respectivamente. Os resultados das classificações mostraram que houve um aumento significativo de área urbana em todas as direções, com destaque para as direções sul, sudeste, sudoeste, norte e oeste, configurando um aumento geral de 169,4 ha de área urbana, correspondente a 53,01% em relação ao ano de 2000. Além disso, verificou-se de maneira empírica as formas de crescimento da cidade, como sendo do tipo extensivo tentacular, pela soma de novas áreas à mancha urbana, dispersão urbana e difusão urbana, e ainda do tipo intensivo periférico. Verificou-se ainda alguns impactos causados devido a expansão da mancha urbana, tanto de forma positiva, como a criação de bairros mais estruturados, bem como negativamente, como as ocupações em locais inapropriados e o crescimento da periferização.

Palavras-chave: Crescimento Urbano. Imagens de Satélites. Classificação Supervisionada.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the urban expansion of Pau dos Ferros, in the Brazilian state of Rio Grande do Norte, in the period between 2000 and 2020, through remote sensing images, seeking to map and quantify the urban area, as well as to identify the forms of growth and the main impacts generated in that municipality. Urban sprawl maps were drawn up using the method of classification supervised by Maximum Likelihood (MAXVER) in the free and open source QGIS software, using remote sensing images from the Landsat 7 (ETM+ sensor) and Landsat 8 (OLI sensor) satellites, dated October 2, 2000 and October 17, 2020, respectively. The results of the classifications showed that there was a significant increase in urban area in all directions, especially in the south, southeast, southwest, north and west directions, configuring a general increase of 169.4 ha of urban area, corresponding to 53, 01% in relation to the year 2000. In addition, it was empirically verified the forms of growth of the city, as being of the extensive tentacular type, by the addition of new areas to the urban sprawl, urban dispersion and urban diffusion, and also by the peripheral intensive type. There were also some impacts caused by the expansion of the urban sprawl, both positively, such as the creation of more structured neighborhoods, as well as negatively, such as occupations in inappropriate places and the growth of peripheralization.

Keywords: Urban growth. Satellite Images. Supervised Classification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Crescimento territorial intensivo: (a) central; (b) periférico.....	13
Figura 2 - Crescimento territorial urbano extensivo por: (a) dispersão urbana; (b) difusão urbana; (c) soma de novas áreas à mancha urbana; (d) tentacular; (e) anéis concêntricos.	14
Figura 3 - Localização do Município de Pau dos Ferros – RN.	17
Figura 4 - Fluxograma dos processos metodológicos.	19
Figura 5 - Mancha urbana do Município de Pau dos Ferros – RN, ano de 2000.	22
Figura 6 - Mancha urbana do Município de Pau dos Ferros – RN, ano de 2020.	22
Figura 7 - Vetores de crescimento da mancha urbana do Município de Pau dos Ferros – RN.	24
Figura 8 - Sistema viário que corta a cidade de Pau dos Ferros – RN.	26
Figura 9 - Oferta de serviços na zona sul da cidade de Pau dos Ferros – RN.	27
Figura 10 – Bairro São Benedito: Construções próximas ao leito do Rio Apodi-Mossoró.	29
Figura 11 - Comunidade Beira-Rio no bairro Manoel Deodato, Pau dos Ferros-RN.	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados das imagens de Sensoriamento Remoto adquiridas dos satélites Landsat. ..	19
Tabela 2 - Área das classes de estudo referentes aos anos de 2000 e 2020.....	23
Tabela 3 - Validação dos resultados das classificações.....	24
Tabela 4 - Bairros da cidade de Pau dos Ferros-RN entre os anos de 2000 e 2020.	27
Tabela 5 - Loteamentos habitacionais de Pau dos Ferros-RN abertos entre os anos de 2005 e 2015.	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFRN	Instituto Federal do Rio Grande do Norte
MAXVER	Máxima Verossimilhança
OLI	Operacional Terra Imager
SCP	Semi-automatic Classification
SLC	Scan Line Corrector
UERN	Universidade Estadual do Rio Grande do Norte
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	11
2.1	OBJETIVO GERAL	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1	EXPANSÃO URBANA	12
3.2	SENSORIAMENTO REMOTO	14
4	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	17
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
4.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1 INTRODUÇÃO

O crescimento urbano desordenado é uma realidade de muitas cidades brasileiras, fato este, impulsionado no início no século XX pelo processo de industrialização, que funcionou como um dos fatores para a migração da população rural em direção a área urbana em um curto intervalo de tempo (BRITO; SOUZA, 2005). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), do ano de 1960 a 2010 a população urbana passou de 44% para 84%, diferentemente das cidades europeias que se densenvolveram ao longo de séculos.

As modificações do espaço urbano ocorrem de forma cada vez mais dinâmica e em tempo cada vez menor. Dessa forma, foge do controle de diversas instituições e órgãos de planejamento do uso e ocupação do solo urbano, tornando o seu gerenciamento um grande desafio. Sendo assim, a compreensão dos padrões da expansão urbana e seus processos tem-se mostrado uma importante ferramenta de auxílio para planejamentos e tomadas de decisões (SILVA; DALMAS; PARANHOS FILHO, 2018).

Nesse sentido, os dados de sensoriamento remoto possuem um papel importante no processo de conhecimento da organização e das transformações que ocorrem na superfície terrestre como um todo. O uso de imagens de satélite é uma alternativa viável e eficiente para visualizar a extensão espacial de cidades e as suas evoluções (SOUZA, 2012).

O município de Pau dos Ferros localizado no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil, possui uma gama de serviços de comércio, educação e saúde, sendo assim, é tido como uma “cidade polo” entre os 37 municípios que integram a região do Alto Oeste Potiguar. A oferta desses serviços gerou como consequência uma urbanização crescente e desordenada, fazendo com que o fluxo migratório seguisse o caminho em busca de uma melhor qualidade de vida na cidade.

Desse modo, surge a necessidade de se conhecer a intensidade, dinâmica e tendências desta expansão. Donat (2011) destaca que este conhecimento é essencial para a construção de um planejamento urbano com propostas para melhoria da qualidade de vida urbana.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo analisar a expansão da mancha urbana da cidade de Pau dos Ferros, estado brasileiro do Rio Grande de Norte (RN), no período entre os anos de 2000 e 2020, através de imagens de sensoriamento remoto dos satélites da série LANDSAT.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conceituar expansão urbana;
- Mapear e quantificar a expansão da mancha urbana da cidade de Pau dos Ferros-RN;
- Compreender as formas de crescimento territorial da referida cidade; e
- Identificar impactos gerados devido a expansão urbana da cidade em estudo.
- Verificar a eficiência do sensoriamento remoto para análise de expansão urbana.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 EXPANSÃO URBANA

As cidades brasileiras sofreram um intenso e acelerado crescimento urbano a partir do século XX, concomitante com o processo de industrialização. De acordo com Bordo (2005):

Na medida em que crescia a industrialização, as sociedades iam também se urbanizando. A industrialização oferecia empregos urbanos à população rural que deixava os campos em busca de novas oportunidades de vida, em razão de mudanças estruturais, como a mecanização da agropecuária, que diminuiu a necessidade de mão-de-obra no campo, ao mesmo tempo em que crescia a necessidade de trabalhadores nas fábricas e nos serviços urbanos (BORDO, 2005).

Dessa forma, completa o autor citado anteriormente, que a população urbana passou a crescer mais do que a população rural, caracterizando assim o processo de urbanização. Porém, como destacam Brito e Souza (2005), somente a partir do ano de 1970 os dados censitários constatavam a população urbana superior à rural, passando de 44,67% do total em 1960, para 55,92% dez anos depois.

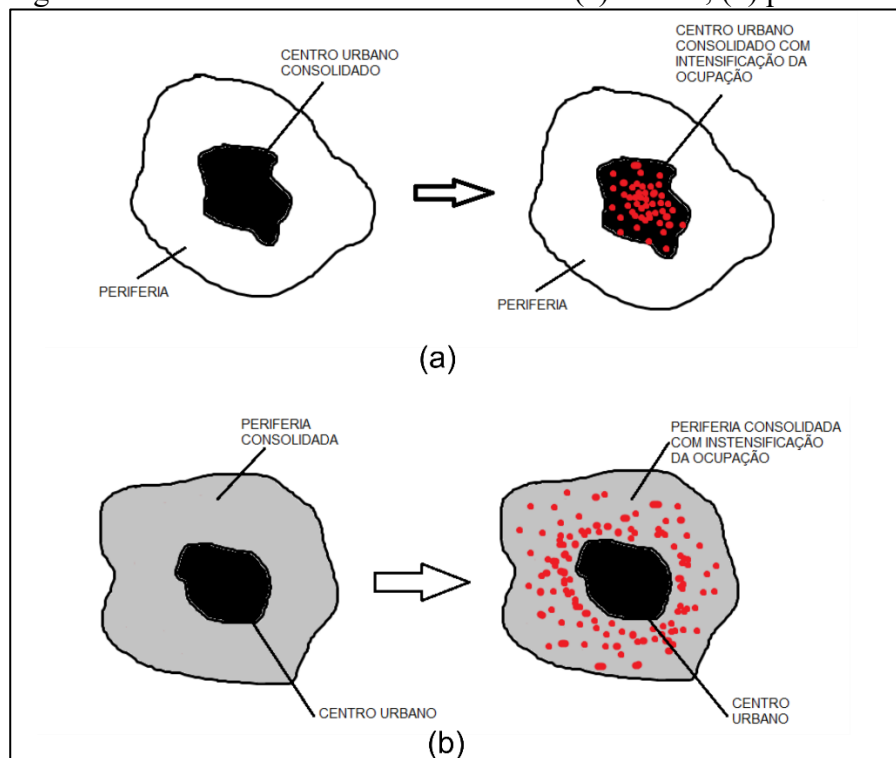
A grande diferença do Brasil para os países capitalistas mais avançados, foi a velocidade superior em que ocorreu esse processo de urbanização, à uma taxa média anual de crescimento de 4,1% somente na segunda metade do século XX (BRITO; SOUZA, 2005).

Contudo, devido ao crescente número de habitantes, as cidades brasileiras passaram a crescer de forma constante, seja em maior ou menor intensidade, ocasionando uma expansão das áreas edificadas cada vez mais acentuada, que para Muacuveia (2019), constitui o processo de expansão urbana.

De acordo com Japiassú e Lins (2014), “expansão urbana é um processo que se refere às dinâmicas da cidade que resultam ou justificam seu crescimento”. Esse processo pode ser classificado conforme o seu resultado em termos de ocupação do solo. Quando há uma intensificação do uso e ocupação do solo o crescimento denomina-se intensivo, já quando ocorre a extensão do tecido urbano, o crescimento é extensivo. Ambos os crescimentos se apresentam de formas distintas nas cidades brasileiras. O extensivo na forma de ampliação do perímetro urbano ou parcelamento do solo, e o intensivo na ampliação da mancha edificada. Dessas formas derivam-se os sete tipos de crescimento territorial urbano.

O crescimento territorial intensivo é identificado por dois tipos: central e periférico. No primeiro ocorre a intensificação da ocupação das áreas centrais da cidade, já o segundo ocorre nas periferias, às margens dos centros urbanos, conforme é mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Crescimento territorial intensivo: (a) central; (b) periférico.



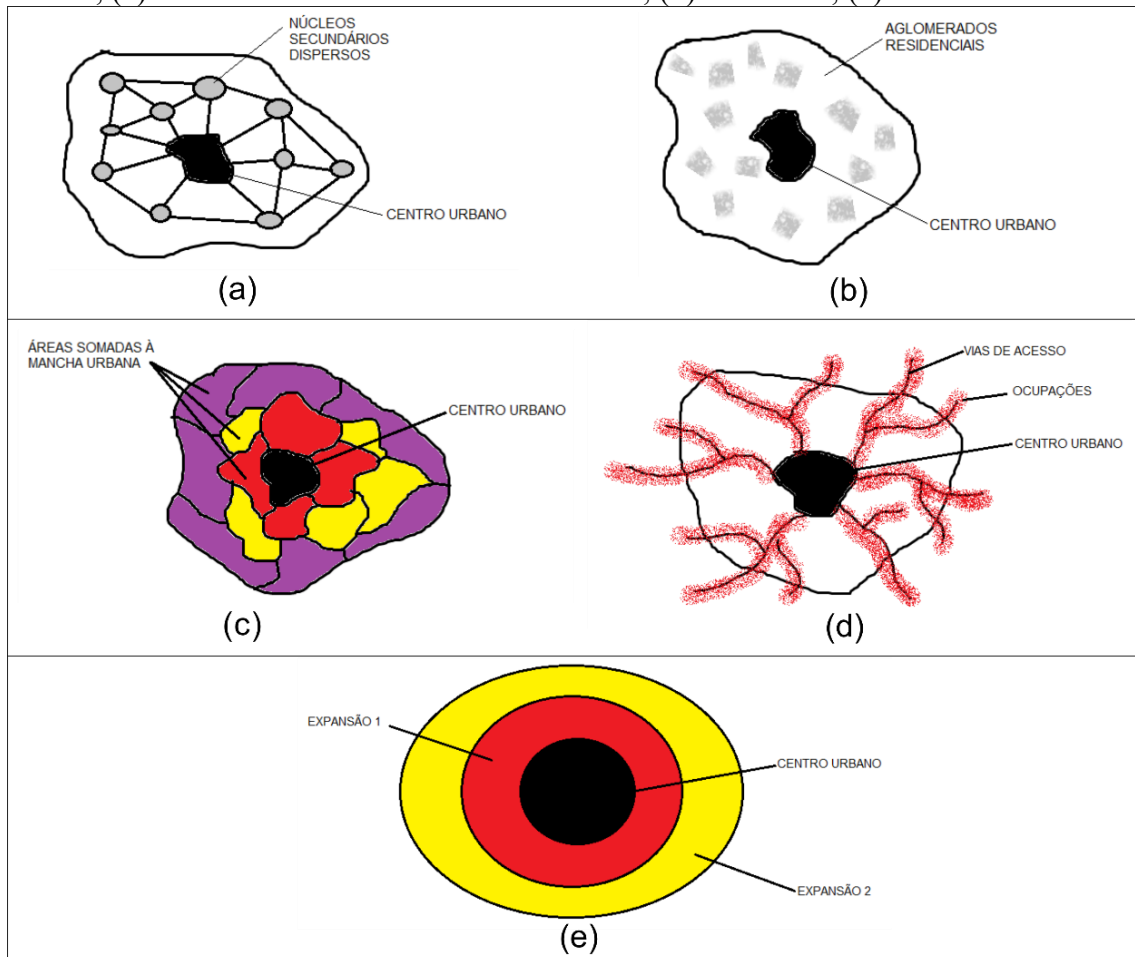
Fonte: Japiassú e Lins (2014)

Já o crescimento territorial urbano extensivo se manifesta em cinco tipos nas cidades brasileiras, conforme ilustra a Figura 2. A expansão por dispersão urbana (Figura 2a) ocorre quando há a formação de pequenos núcleos urbanos secundários que oferecem uma diversidade de usos, mas não o bastante para tornarem-se independentes do centro urbano. Esses núcleos são interligados entre si e com o centro urbano por meio do sistema viário da cidade. Por outro lado, no crescimento por difusão urbana (Figura 2b) os aglomerados formados são exclusivamente residenciais e totalmente dependentes do centro urbano (JAPIASSÚ; LINS, 2014).

No modelo de crescimento extensivo pela soma de novas áreas à mancha urbana (Figura 2c), ocorre a conversão das áreas de uso rural em urbana, isso se deve a alterações no perímetro urbano e/ou ao surgimento de novos bairros. A expansão pode ocorrer também por meio do sistema viário da cidade, é o chamado crescimento extensivo do tipo tentacular (Figura 2d), no qual, a ocupação do espaço segue as principais vias de acesso da cidade. Por último, o

crescimento por anéis concêntricos (Figura 2e), em que a ocupação se dá de forma radial em camadas em torno do centro urbano (JAPIASSÚ; LINS, 2014).

Figura 2 - Crescimento territorial urbano extensivo por: (a) dispersão urbana; (b) difusão urbana; (c) soma de novas áreas à mancha urbana; (d) tentacular; (e) anéis concêntricos.



Fonte: Adaptado de Japiassú e Lins (2014)

3.2 SENSORIAMENTO REMOTO

O desenvolvimento inicial do sensoriamento remoto é cientificamente ligado ao desenvolvimento da fotografia e à pesquisa espacial. As fotografias aéreas foram o primeiro produto de sensoriamento remoto a ser utilizado, tanto é assim, que a fotogrametria e a fotointerpretação são termos muito anteriores ao termo sensoriamento remoto propriamente dito (NOVO; PONZONI, 2001, p. 4).

Embora resulte do desenvolvimento da fotografia, o termo sensoriamento remoto somente aparece na literatura científica a partir da década de 1960 com a corrida espacial. momento em que houve grandes avanços tecnológicos instigados pela pesquisa espacial, como

o lançamento de satélites artificiais por meio de foguetes, inicialmente para aplicações meteorológicas, e posteriormente aprimorados para levantamento de recursos terrestres (MENESES; ALMEIDA, 2012; NOVO; PONZONI, 2001).

A princípio, o sensoriamento remoto é definido simplesmente como “a aquisição de informações sem contato físico com os objetos” (NOVO; PONZONI, 2001, p. 4). Para Moraes (2002), é um conjunto de atividades – detecção, aquisição e análise – que permite obter informações de objetos da superfície terrestre sem a necessidade de um contato direto. Em um ponto de vista mais científico, Meneses e Almeida (2012) definem o sensoriamento remoto como sendo “uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres”.

Os dados do sensoriamento remoto são adquiridos através “de instrumentos denominados sensores que diferenciam-se entre si pela forma de funcionamento e por suas capacidades” (NOVO; PONZONI, 2001, p. 11) que são expressas em função de quatro domínios de resolução: espacial, espectral, radiométrica e temporal.

Crósta (1992) define a resolução espacial como a “capacidade do sistema sensor em “enxergar” objetos na superfície terrestre”. Para que um objeto seja identificado em uma imagem, necessariamente, este deve possuir no mínimo o mesmo tamanho do menor elemento da superfície, ou seja, da resolução espacial. Já a resolução espectral se refere a capacidade do sistema sensor em distinguir diferentes alvos na superfície terrestre. É definida pelo número de bandas do sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda. Um sensor com alta resolução espectral possui um grande número de bandas situadas em diferentes regiões do espectro eletromagnético, e com larguras estreitas de comprimentos de onda (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Já a resolução radiométrica está relacionada ao número de níveis de cinza de uma imagem, ou seja, a medida da intensidade de energia eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos terrestres. Quanto maior o número de níveis, maior será a quantidade de detalhes perceptíveis, conseqüentemente, maior a resolução radiométrica (MENESES; ALMEIDA, 2012).

As mudanças ou evoluções que ocorrem periodicamente na superfície terrestre podem ser percebidas conforme uma outra característica muito importante do sistema sensor: a resolução temporal. Essa resolução diz respeito a frequência com que o sensor revisita a área de interesse e obtém imagens periódicas. Os satélites expressam uma órbita heliossíncrona

ortogonal ao sentido de rotação da Terra, passando então sobre uma mesma área da superfície na mesma hora (MENESES; ALMEIDA, 2012).

A análise espacial e, principalmente, a temporal da expansão urbana por meio de imagens produto do sensoriamento remoto permite a identificação do crescimento urbano e contribui na criação de diretrizes e metodologias para a elaboração de um plano de gerenciamento e planejamento urbano, assim como no direcionamento do crescimento físico e econômico da cidade (SANTOS; LAPOLLI, 2003).

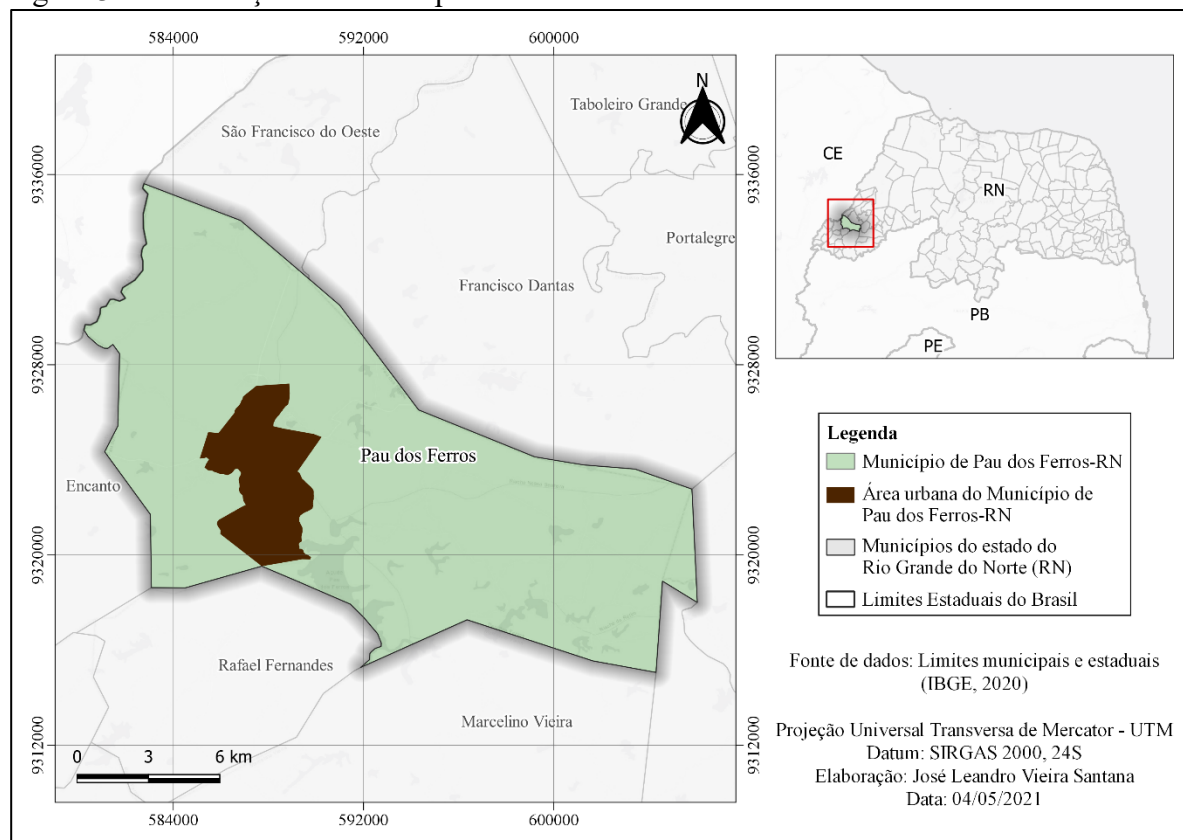
4 METODOLOGIA DA PESQUISA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi desenvolvido na cidade de Pau dos Ferros, situada na mesorregião oeste potiguar, e microrregião de Pau dos Ferros no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil, distante cerca de 400 km da capital Natal (Figura 3). Possui uma área territorial de 259,959 km², o que corresponde a 0,52% da superfície estadual (COSTA, 2010), e uma população estimada no ano de 2020 de 30.600 habitantes segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020).

Segundo o Instituto de desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (IDEMA, 2008), o município em estudo apresenta um clima muito quente e semiárido, com período chuvoso de fevereiro a junho e temperaturas médias anuais entre 21 e 36 °C. Geomorfologicamente predominam formas tabulares de relevos, de topo plano, com diferentes ordens de grandeza e de aprofundamento de drenagem, separados geralmente por vales de fundo plano.

Figura 3 - Localização do Município de Pau dos Ferros – RN.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2021).

Os primeiros habitantes do município de Pau dos Ferros-RN foram os índios panatis, porém, seu processo de povoamento e formação se deu entre final do século XVII e início do século XVIII, quando vaqueiros que transitavam com seus rebanhos pelo sertão descobriram um curso d'água, mais tarde nomeado de Rio Apodi-Mossoró, cercado de árvores que ofereciam uma farta sombra e assim, um excelente local para repouso após longas viagens. Em alguma daquelas árvores passaram a deixar as marcas de suas fazendas, com ferro em brasa, com a finalidade de torná-las conhecidas na região, daí o nome “Pau dos Ferros” (PREFEITURA MUNICIPAL DE PAU DOS FERROS, 2021).

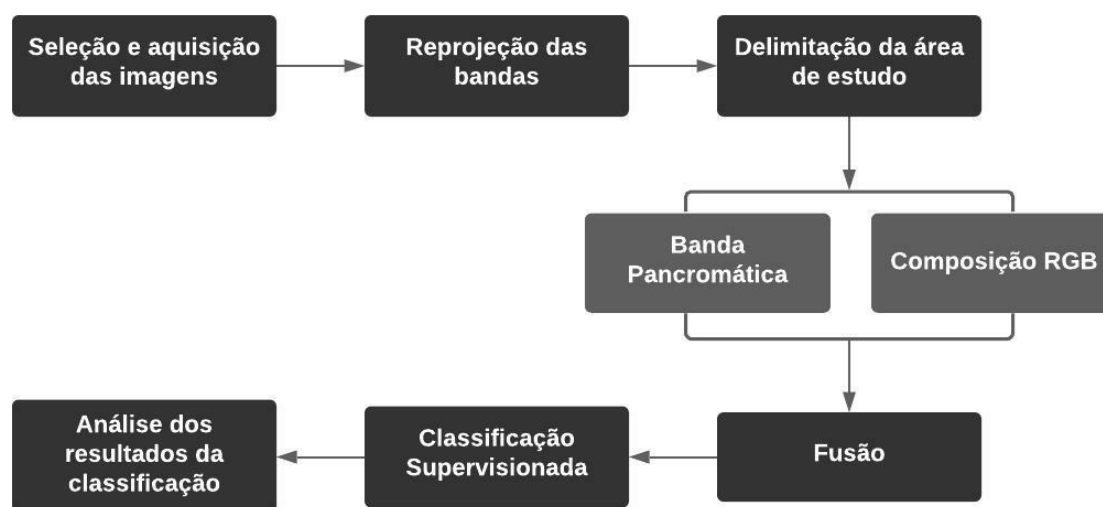
A partir de então, também se tornou ponto de parada para comerciantes e fazendeiros, que vinham em busca do mercado consumidor e logo vieram a se instalar naquele território. O povoado logo se estendeu até que, em 4 de setembro de 1856 foi elevado à categoria de vila pela Lei nº 344, desmembrando-se do município de Portalegre, e mais tarde em 1924 à categoria de cidade (IBGE, 2021).

Em virtude da oferta de múltiplos serviços de comércio, educação e saúde, Pau dos Ferros é tida como uma “cidade polo” entre os 37 municípios que integram a região do Alto Oeste Potiguar. É importante destacar que este fato influencia não só as cidades circunzinhas, mas também algumas dos Estados Ceará e Paraíba, contribuindo assim para as mudanças e crescimentos em sua dinâmica urbana (MAIA; SILVA, 2013).

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A Figura 4 apresenta o fluxograma com os procedimentos metodológicos utilizados para atingir os objetivos do trabalho.

Figura 4 - Fluxograma dos processos metodológicos.



Fonte: Autor, (2021).

Para o presente estudo foram adquiridas imagens do sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) a bordo do satélite Landsat 7, lançado em 1999, e do sensor OLI (Operacional Terra Imager) do Landsat 8, lançado em 2013, ambas disponibilizadas gratuitamente no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2021): <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Alguns aspectos foram decisivos para determinada escolha, como a facilidade de aquisição, a sua resolução espectral com a existência da banda pancromática, e principalmente por melhor envolver o intervalo de estudo proposto.

A princípio o intuito era analisar o processo de expansão das áreas urbanizadas em intervalos de cinco anos no período de 2000 a 2020, porém, as cenas imageadas pelo satélite landsat 7 a partir de maio de 2003 apresentam ausência de dados ocasionada por uma falha no equipamento SLC (Scan Line Corrector) do sensor (USGS, 2021). Sendo assim, optou-se por explorar apenas as datas limites: para o ano de 2000 a imagem do Landsat 7, dado que ainda não apresentava danos no sensor; e para 2020, a imagem do Landsat 8, conforme mostra a Tabela 1. Com base nos critérios estabelecidos por Cunha et al. (2012), foram selecionadas imagens com a menor cobertura de nuvens possível, e pertencentes ao mesmo período do ano.

Tabela 1 - Dados das imagens de Sensoriamento Remoto adquiridas dos satélites Landsat.

SATÉLITE	SENSOR	ÓRBITA/PONTO	DATA	BANDAS
----------	--------	--------------	------	--------

Landsat 7	ETM+	216/064	02/10/2000	3,5,7,8
Landsat 8	OLI	216/064	17/10/2020	4,6,7,8

Fonte: Autor, (2021).

Vale destacar que os produtos Landsat adquiridos são da *Collection 1 Level 1*, isto é, uma estrutura formal de coleção de dados que o USGS buscou organizar afim de fornecer dados com correções radiométricas e geométricas consistentes e precisas, assegurando que as alterações verificadas nas imagens, ao longo do tempo e do espaço, sejam ocasionadas por mudanças na própria superfície terrestre e não por variações no sensor, contribuindo assim, para análises de séries temporais com diferentes sensores, como é o caso deste estudo (ZANTER, 2019).

Após obtidas, todas as bandas foram reprojetadas para o sistema de coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM), Datum SIRGAS 2000 e zona 24S, e depois, para otimizar o processamento, foram recortadas a partir da camada de arquivo do tipo *shapefile* (.SHP) do limite urbano referente ao ano de 2020, extraída dos setores censitários do município em questão (IBGE, 2020).

Após inúmeras tentativas de composições coloridas que melhor destacassem o objeto de estudo, neste caso as áreas urbanas, chegou-se à composição RGB753 para o LANDSAT 7 e RGB764 para o LANDSAT 8, cujas bandas multiespectrais correspondem ao infravermelho médio, infravermelho médio e vermelho, respectivamente.

Com a finalidade de obter imagens com uma melhor resolução espacial, através da ferramenta *pansharpening* do *software* livre e gratuito QGIS versão 3.10 (QGIS, 2019), as composições coloridas tais quais possuem resolução de 30m foram fusionadas com a banda pancromática de cada sensor que possui 15m de resolução, assim, obtendo como resultado imagens com resolução espacial de 15m.

Na etapa de classificação empregou-se a metodologia aplicada por Sousa et al. (2020), que fez uso do plugin *Semi-automatic Classification* (SCP) para classificar de forma supervisionada os diferentes alvos presentes na imagem. O algoritmo utilizado no processo foi o Máxima Verossimilhança (MAXVER) com 100% dos pixels coletados nas amostras classificadas que, segundo Moura et al. (2013), é o classificador mais empregado no sensoriamento remoto.

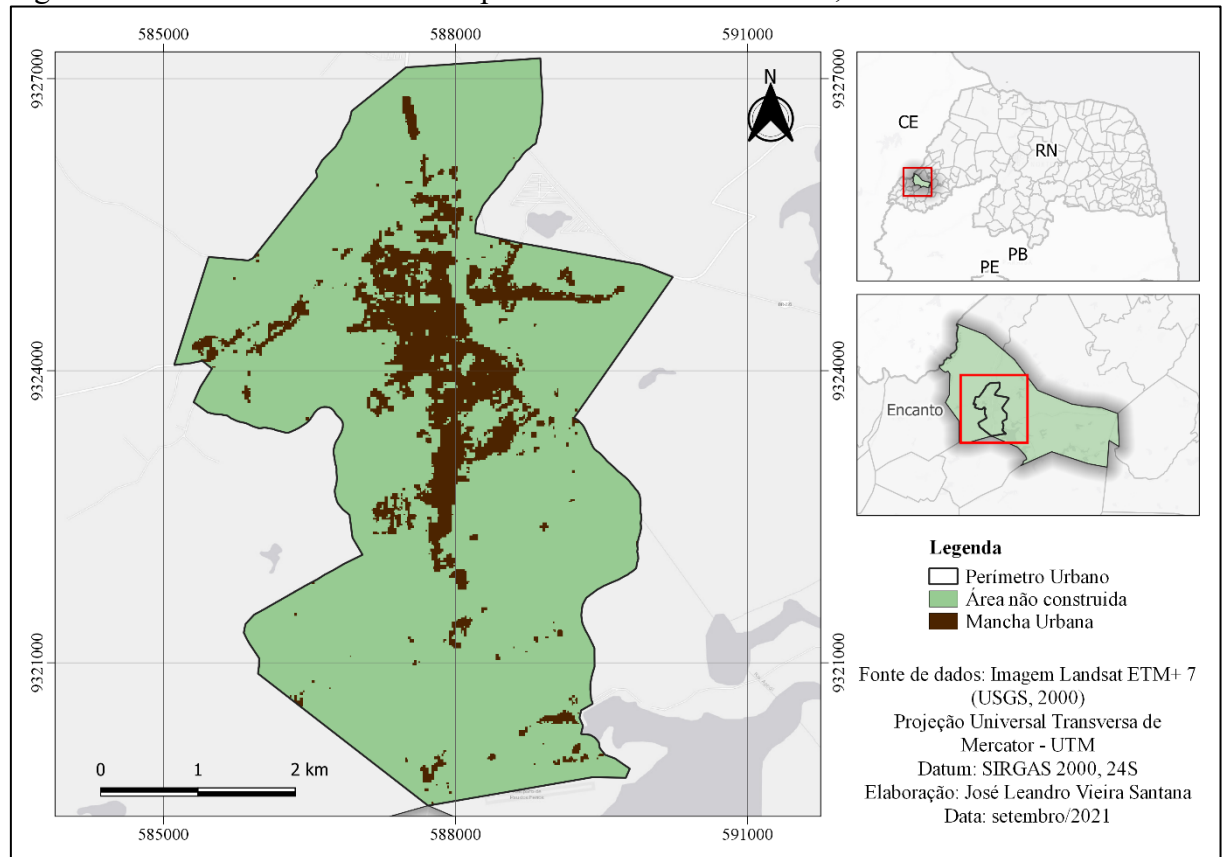
As classes foram definidas da seguinte forma: as áreas construídas classificadas como urbano, e todo o resto (vegetação, corpos hídricos, solo exposto, entre outros) como não urbano.

Por fim, a última etapa do trabalho foi relacionada à geração de mapas temáticos e validação dos resultados das classificações com a obtenção de valores de acurácia global e índice estatístico kappa, obtidos com o auxílio da ferramenta accuracy no próprio QGIS.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

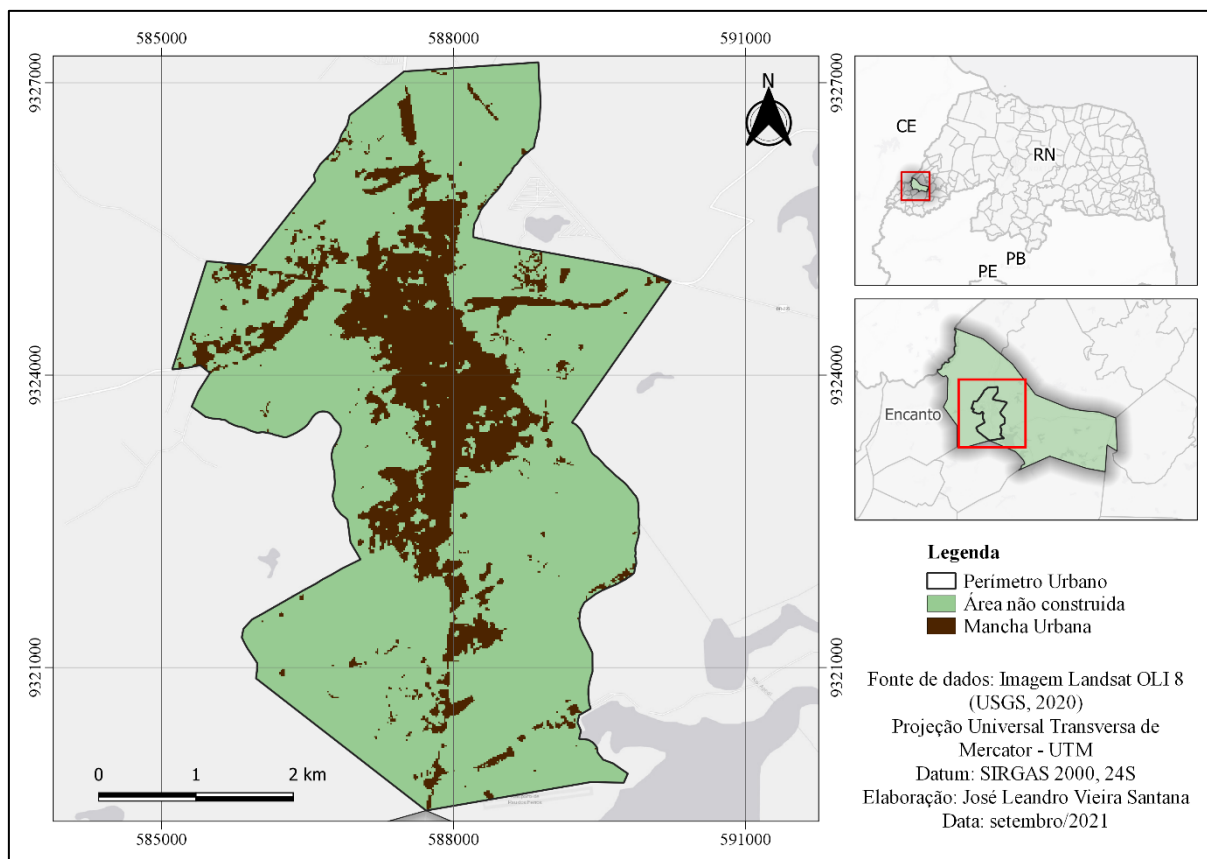
Os resultados obtidos a partir da classificação supervisionada com as imagens Landsat referente aos anos de 2000 e 2020 podem ser observados nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

Figura 5 - Mancha urbana do Município de Pau dos Ferros – RN, ano de 2000.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2021).

Figura 6 - Mancha urbana do Município de Pau dos Ferros – RN, ano de 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2021).

A Tabela 2 apresenta a quantificação de área referente as classes estabelecidas para as duas imagens, obtida por meio da ferramenta r.report do QGIS. Pode-se observar que no ano de 2000 a área urbanizada correspondia a 319,57 ha, o equivalente a 14,13% do limite urbano, enquanto que a classe intitulada não urbano contava com 1942,76 ha, correspondente a 85,87% da área de estudo. Já para a imagem do ano de 2020, as extensões territoriais foram de 488,97 e 1773,34 hectares, equivalentes a 21,61% e 78,39% da área de estudo, referentes as classes urbano e não urbano, respectivamente.

Tabela 2 - Área das classes de estudo referentes aos anos de 2000 e 2020.

	Classe	Área (ha)	Área (%)
Ano 2000	Não urbano	1942,76	85,87
	Urbano	319,57	14,13
Ano 2020	Não urbano	1773,34	78,39
	Urbano	488,97	21,61

Fonte: Autor, (2021)

Desse modo, observa-se no ano de 2020 um acréscimo de 169,4 ha de área urbana, o que corresponde um incremento de 53,01% em relação a área urbana do ano de 2000. Consequentemente, 8,72% das feições que integravam a classe não urbano em 2000, como a vegetação e solo exposto, foram convertidas em áreas construídas no ano de 2020.

A validação dos resultados das classificações se deu com a obtenção de valores estatísticos de acurácia global e índice kappa de ambas imagens.

De acordo com a Tabela 3, os dados de acurácia de 99,4114% e 99,1714% referentes as classificações supervisionadas de 2000 e 2020, respectivamente, afirmam que os pixels das imagens foram, em sua quase totalidade, classificados corretamente. O índice kappa obtido foi de 0,9753 referente a imagem do ano de 2000, e 0,9752 para o ano de 2020 que, de acordo com o agrupamento qualitativo proposto por Fonseca (2000) citado por Prina e Trentin (2015), são classificados como “excelente”, garantindo assim, a confiabilidade e exatidão dos dados.

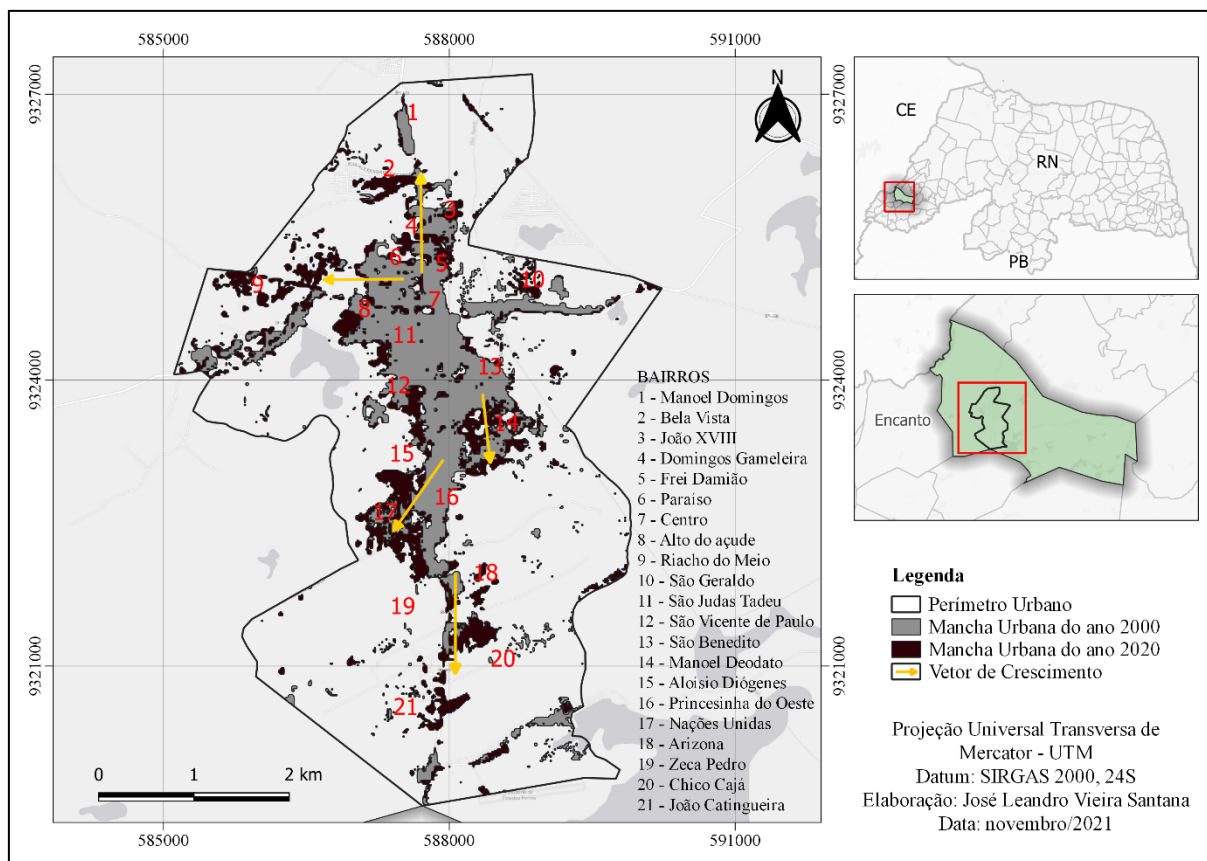
Tabela 3 - Validação dos resultados das classificações.

Classificação	Acurácia Global (%)	Índice Kappa	Qualidade da classificação
2000	99.4114	0.9753	Excelente
2020	99.1714	0.9752	Excelente

Fonte: Autor, (2021)

Além dos dados quantitativos até então apresentados, identificou-se a partir da sobreposição da mancha urbana do ano de 2000 com a de 2020, as áreas que apresentaram um crescimento significativo no intervalo de estudo analisado com destaque para as porções sul, sudeste, sudoeste, norte e oeste, conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7 - Vetores de crescimento da mancha urbana do Município de Pau dos Ferros – RN.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2021).

No sentido norte da cidade observa-se um vetor de crescimento seguindo a rodovia BR 405. Nessa região destaca-se a criação dos bairros Domingos Gameleira e Bela Vista. Na direção oeste nota-se a extensão do bairro Riacho do meio através de loteamentos residenciais.

Na porção sudeste da cidade, notou-se uma intensificação do uso e ocupação do solo do bairro Manoel Deodato. Já no sentido sudoeste, houve a extensão territorial do bairro Nações Unidas e a criação do bairro Aloísio Diógenes Pessoa.

E por fim, destaca-se a porção sul da cidade, na qual observou-se um crescimento às margens da BR 405 em direção ao município de Rafael Fernandes-RN, com o surgimento dos bairros Arizona, Chico Cajá, Zeca Pedro e João Catingueira, instigados pela instalação de Instituições públicas de ensino, como a Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN) que a partir de 2004 iniciou uma expansão na oferta de cursos superiores, e o Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN) inaugurado no ano de 2009, oferecendo ensino médio, técnico e superior.

O menor crescimento apresentado no intervalo temporal de 20 anos, foi observado na porção leste da cidade, seguindo a rodovia estadual RN 177, onde localiza-se o Bairro São Geraldo, um dos mais antigos da cidade. Vale salientar, que neste bairro, situa-se o campus da

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), inaugurado no ano de 2012, porém, o território não está inserido no perímetro urbano dos setores censitários do IBGE (2020). Sendo assim, o campus não foi considerado como área de expansão urbana nesse estudo. Destaca-se também a existência de um loteamento habitacional denominado Nova Pau dos Ferros, situado ao norte da cidade em direção a BR 226, mas também não está inserido no perímetro de estudo.

Contudo, a partir dos resultados obtidos e com base no referencial teórico deste trabalho, foi possível identificar de maneira empírica as principais formas de crescimento da mancha urbana de Pau dos Ferros.

O município está inserido em um entroncamento de três rodovias, sendo duas federais e uma estadual, as quais possuem alta concentração de fluxos e usos.

Na Figura 8 é visível que a forma que melhor configura o crescimento territorial urbano da cidade como um todo é a do tipo extensivo tentacular, visto que, seu processo de ocupação se deu e continua sendo no entorno do sistema viário que corta a cidade de norte a sul, às margens da BR 405, e de leste a oeste, na RN 177.

Figura 8 - Sistema viário que corta a cidade de Pau dos Ferros – RN.



Fonte: Autor, (Adaptado do Google Earth, 2021).

Considerando o surgimento de novos bairros no período entre os anos de 2000 e 2020, conforme mostra a Tabela 4, com suas respectivas leis de criação, pode-se dizer que a cidade

passou por um crescimento territorial extensivo pela soma de novas áreas à mancha urbana, ocorrendo então a ampliação do perímetro urbano.

Tabela 4 - Bairros da cidade de Pau dos Ferros-RN entre os anos de 2000 e 2020.

Bairros	Ano de criação	Lei de criação
Chico cajá	2000	812
Arizona	2002	910
Domingos Gameleira	2007	1070
João Catingueira	2007	1071
Zeca Pedro	2007	1079
Aloísio Diógenes Pessoa	2008	1124
Alto do Açude	2009	1158
Bela Vista	2011	1224

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em Câmara Municipal de Pau dos Ferros-RN (2021).

Além da expansão dos limites urbanos, observou-se também o adensamento do perímetro urbano, consequência da população que recorre às áreas livres ainda não ocupadas no interior da cidade, como é o caso do bairro Manoel Deodato, no qual nos últimos 20 anos sofreu uma intensificação do uso e ocupação do solo. Dessa forma, pode-se dizer que a cidade passou por um crescimento urbano intensivo periférico, visto que o bairro citado localiza-se na periferia.

O crescimento extensivo por dispersão urbana é outro tipo de crescimento no qual se configura a cidade de Pau dos Ferros no período analisado.

Conforme a Tabela 5, elaborado por Bezerra (2016), foram instalados 24 loteamentos habitacionais no município entre os anos de 2005 e 2015 em função da implantação de empreendimentos com ofertas de serviços, por exemplo, no âmbito educacional, como o IFRN no bairro Chico Cajá e a ampliação de cursos da UERN no Arizona na zona sul da cidade, assim como no âmbito comercial com a chegada do supermercado Nosso Atacarejo no bairro Zeca Pedro, como mostra a Figura 9. Sendo assim, pode-se dizer que houve a formação de núcleos secundários nessas áreas.

Figura 9 - Oferta de serviços na zona sul da cidade de Pau dos Ferros – RN.



Fonte: Autor, (Adaptado do Google Earth, 2021).

É possível identificar também a partir da Tabela 5, em conjunto com a observação espacial, o crescimento extensivo por difusão urbana que ocorre devido a propagação de aglomerados unicamente residenciais por meio do parcelamento do solo, como é o caso dos bairros: Bela Vista, Riacho do Meio e Aloísio Diógenes Pessoa.

Tabela 5 - Loteamentos habitacionais de Pau dos Ferros-RN abertos entre os anos de 2005 e 2015.

LOTEAMENTO HABITACIONAL	BAIRRO	FIXO MAIS PRÓXIMO
Antônio Nilson Feitosa	Alto do Açude	Centro Comercial
Arizona	Princesinha do Oeste	UERN e Hospital Regional
Boa Vista	São Geraldo	UFERSA
Campos do Alto	Nova Pau dos Ferros	BR-226
Cascatinha	Alto do Açude	Centro Comercial
Colinas do Alto Oeste	Riacho do Meio	BR-226
Colinas Zona Sul	Chico Cajá	IFRN e UERN
Colinas Zona Sul II	Chico Cajá	IFRN e UERN
Colinas Zona Sul III	Chico Cajá	IFRN e UERN
Colinas Zona Sul IV	Chico Cajá	IFRN e UERN
Dom Bosco	Frei Damião	Centro Comercial
Inácia Fernandes da Costa I	Zeca Pedro	UERN
Jardim América	João Catingueira	IFRN e UERN
Jardim América II	João Catingueira	IFRN e UERN
Jardim São Paulo	Zeca Pedro	UERN
Loteamento Ligeirinho II	Aloísio Diógenes Pessoa	UERN

José Nicodemos de Lima	Riacho do Meio	BR-226
Nossa Senhora da Conceição	Alto do Açude	Centro Comercial
Oeste Village	Nações Unidas	UERN
Parque União	Aeroporto	IFRN
Pedra Azul (I etapa)	Chico Cajá	IFRN e UERN
Planalto	Chico Cajá	IFRN e UERN
Segundo Melo	Bela Vista	Centro Comercial
Ubiranilton Deodato	Princesinha do Oeste	Justiça Federal e UERN

Fonte: Adaptado de Bezerra, (2016).

De acordo com Bezerra (2016), o processo de expansão desses loteamentos proporcionou a criação de bairros mais estruturados que atendem a uma parcela da classe média da cidade como por exemplo, o bairro Chico Cajá e Nações Unidas, que dispõem de pouco investimento de infraestrutura, mas tendem a se valorizar.

Por outro lado, a forma como se deu essa expansão territorial na cidade de Pau dos Ferros acarretou alguns impactos fora do controle do poder público. Um exemplo disso, foi a ocupação desordenada de residências e empreendimentos em locais inadequados, como ocorreu no bairro São Benedito (Figura 10), onde algumas construções se instalaram bem próximas ao leito do Rio Apodi-Mossoró, que de acordo com Costa (2010) compreende uma área propícia a inundações em períodos chuvosos.

Além disso, conforme destaca Bezerra (2016), a expansão também proporcionou o incremento da periferização, com o aumento da pobreza de algumas áreas, com a ocupação desordenada do solo urbano e crescimento da violência, como é o caso do bairro Manoel Deodato, mais precisamente em parte dele, na comunidade Beira-Rio (Figura 11).

Figura 10 – Bairro São Benedito: Construções próximas ao leito do Rio Apodi-Mossoró.



Fonte: Autor, (Adaptado do Google Earth, 2021)

Figura 11 - Comunidade Beira-Rio no bairro Manoel Deodato, Pau dos Ferros-RN.



Fonte: Autor, (Adaptado do Google Earth, 2021)

O município de Pau dos Ferros, de acordo com o IBGE no censo de 2000, apresentava um número populacional correspondente a 24.619 habitantes, enquanto que em 2020, foi feita uma estimativa de 30.600 habitantes. Com isso, percebe-se um acréscimo aproximado de 24,3%

em um período de 20 anos, o que aponta o crescimento populacional como um dos fatores que contribuíram com a expansão territorial da cidade.

A análise do processo de crescimento da expansão urbana e suas características são essenciais para a compreensão das dinâmicas em desenvolvimento nas cidades, e com isso encontrar um melhor direcionamento para o planejamento de infraestruturas, equipamentos e serviços, afim de buscar medidas para a mitigação dos diversos problemas sociais, ambientais e econômicos oriundos do processo de expansão urbana.

Com isso, os resultados obtidos neste trabalho contribuem tanto para o poder público para tomadas de decisões mais assertivas no planejamento urbano do município, como para trabalhos futuros no ambiente acadêmico.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constatou-se que os dados obtidos por meio de imagens de sensoriamento remoto, associados ao método de classificação supervisionada com o algoritmo MAXVER, mostraram-se bastante eficientes para o mapeamento e quantificação da mancha urbana do Município de Pau dos Ferro-RN.

De um modo geral, os resultados mostraram que o município duplicou sua área urbana no intervalo de 20 anos, com 53,01% em relação a mancha urbana do ano de 2000. Constatou-se que a região sul apresentou crescimento urbano mais intenso, a qual recebeu e ainda hoje recebe incentivos para sua ocupação, resultando na extensão territorial da cidade em direção ao município de Rafael Fernandes-RN. Além disso, foi possível compreender as principais formas de crescimento, sendo elas do tipo: extensivo tentacular, pela soma de novas áreas à mancha urbana, por dispersão urbana, por difusão urbana e intensivo periférico. E ainda, identificou-se alguns impactos gerados devido a expansão, seja de forma positiva, como a criação de bairros mais estruturados, ou negativamente, como as ocupações em locais inapropriados e o crescimento da periferização.

Dada a importância do tema, recomenda-se que esses estudos sejam realizados com certa frequência, visto que a cidade está em constante crescimento, com destaque para a porção sul da cidade. Para uma próxima pesquisa é interessante a análise em outro intervalo temporal com a utilização de outros satélites com sensores que possuam uma melhor resolução espacial.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEZERRA, J. A. **A cidade e região de Pau dos Ferros: por uma geografia da distância em uma rede urbana interiorizada**. Tese. Programa De Pós-Graduação Em Geografia, p. 430, 2016.

BORDO, A. **Os eixos de desenvolvimento e a estruturação urbano-industrial do estado de São Paulo, Brasil**. Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1 de agosto de 2005, vol. IX, núm. 194 (79). <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-194-79.htm>> [ISSN: 1138-9788]

BRITO, F.; SOUZA, J. DE. **Expansão urbana nas grandes metrópoles: o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza**. São Paulo em Perspectiva, v. 19, n. 4, p. 48–63, 2005.

CÂMARA MUNICIPAL DE PAU DOS FERROS. **"Leis Municipais"**. Disponível em: <<https://www.camarapaudosferros.rn.gov.br/leis.php>>. Acesso em: 01 nov. 2021.

COSTA, F. R. DA. **Inundações Urbanas No Semiárido Nordestino: O Caso Cidade De Pau Dos Ferros - Rn**. Dissertação, 2010.

CRÓSTA, A. P. **Análise de imagens de sensoriamento remoto**. [s.l: s.n.].

CUNHA, J. E. D. B. L. et al. Dynamics of vegetal cover for São João do Rio do Peixe Basin (Paraíba) using remote sensing. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 539–548, 2012.

DE MOURA, A. B. A. P. et al. Processamento Digital de Imagens LANDSAT como auxílio à classificação e análise da evolução da mancha urbana de Juiz de Fora-MG entre os anos de 1990 e 2011. **Anais XVI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE**, p. 6917–6922, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **"Cidades"**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/pau-dos-ferros/historico>>. Acesso em 01 mai. 2021

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **"Bases Cartográficas"**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas.html>>. Acesso em: 01 mai. 2021

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação para 1º de julho de 2020**. Disponível em: <https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2020/POP2020_20210331.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2021.

IDEMA. Perfil do Município Pau dos Ferros. p. 1–22, 2008.

JAPIASSÚ, L. A. T.; LINS, R. D. B. As Diferentes Formas De Expansão Urbana. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 2, n. 13, p. 15–25, 2014.

DONAT, Leonardo Marcelo. **Utilização de Técnicas de Sensoriamento Remoto para análise de crescimento da área urbana do município de Foz do Iguaçu - PR nos anos de 1985 e 2011.** 2011.

MAIA, Andrea Paula Rego; DA SILVA, Cícero Nilton Moreira. Expansão urbana no espaço pauperrense a partir da análise do bairro Chico Cajá de 2007 A 2012. **Revista Geotemas**, v. 3, n. 2, p. 75-90, 2013.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. DE. **INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO.** Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MORAES, Elizabete Caria de. Capítulo 1 Fundamentos De Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais-Inpe-8984-Pud/62. **Inpe-8984-Pud/62**, p. 23, 2002.

MUACUVEIA, Reginaldo Rodrigues Moreno. **Urbanização contemporânea em Moçambique: papel dos instrumentos de planejamento urbano na ocupação do espaço.** 2019.

NOVO, E. M. L. DE M.; PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto.** 2001.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PAU DOS FERROS-RN. **"Dados do Município"**. Disponível em: <<https://paudosferros.rn.gov.br/omunicipio.php>>. Acesso em: 01 set. 2021.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. GMC: Geração de Matriz de Confusão a partir de uma classificação digital de imagem do ArcGIS®. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, n. XVII, p. 132–139, 2015.

SANTOS, J. S. M.; LAPOLLI, É. M. **Comparação tabular da expansão urbana dos municípios de Itapema, Porto Belo e Bombinhas em Santa Catarina, Brasil , no período de 1985 a 2002.** UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. p. 1–8, 2003.

SILVA, Anderson Antonio Molina; DALMAS, Fabrício Bau; PARANHOS FILHO, Antônio Conceição. Análise multitemporal do crescimento urbano do município de Amambai–MS. **Revista Geociências-UNG-Ser**, v. 17, n. 1, p. 06-13, 2018.

SOUSA, B. A. A. DE et al. Análise Do Crescimento Urbano Da Cidade De Cajazeiras-Pb Através De Imagens Do Rapideye / Analysis of Urban Growth in the City of Cajazeiras-Pb Using Rapideye Images. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 65020–65033, 2020.

SOUZA, I. M. Sensoriamento remoto orbital aplicado a estudos urbanos. **Material Didático. INPE**, São José dos Campos, 2012.

USGS - United States Geological Survey. **"Landsat Missions-Landsat 7"**. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-7?>>. Acesso em: 10 mai.2021.

ZANTER, K. Landsat Collection 1 Level 1 Landsat. **United States Geological Survey**, v. 2, n. April, p. 1–26, 2019.