



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/03.11.12.34-TDI

**RELAÇÕES ENTRE LUZES NOTURNAS DO SENSOR
VISIBLE INFRARED IMAGING RADIOMETER SUITE
DAY/NIGHT BAND (VIIRS/DNB) E USO E
COBERTURA DA TERRA NA AMAZÔNIA LEGAL
BRASILEIRA**

Gabriel da Rocha Bragion

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, orientada
pela Dra. Silvana Amaral Kampel,
aprovada em 03 de março de 2020.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/425F72H>>

INPE
São José dos Campos
2020

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):

Presidente:

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

Membros:

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Cauê Silva Fróes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/03.11.12.34-TDI

**RELAÇÕES ENTRE LUZES NOTURNAS DO SENSOR
VISIBLE INFRARED IMAGING RADIOMETER SUITE
DAY/NIGHT BAND (VIIRS/DNB) E USO E
COBERTURA DA TERRA NA AMAZÔNIA LEGAL
BRASILEIRA**

Gabriel da Rocha Bragion

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, orientada
pela Dra. Silvana Amaral Kampel,
aprovada em 03 de março de 2020.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/425F72H>>

INPE
São José dos Campos
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Bragion, Gabriel da Rocha.

Br73r Relações entre luzes noturnas do sensor visible infrared imaging radiometer suite day/night band (VIIRS/DNB) e uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira / Gabriel da Rocha Bragion. – São José dos Campos : INPE, 2020.

xxiii + 132 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/03.11.12.34-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2020.

Orientadora : Dra. Silvana Amaral Kampel.

1. VIIRS. 2. Luzes Noturnas. 3. Amazônia Legal. 4. Uso e Cobertura da Terra. I.Título.

CDU 528.8:332.3(811)



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).


This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): **Gabriel da Rocha Bregion**

Título: "RELAÇÕES ENTRE LUZES NOTURNAS DO SENSOR VISIBLE INFRARED IMAGING RADIOMETER SUITE DAY/NIGHT BAND (VIIRS/DNB) E USO E COBERTURA DA TERRA NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA"

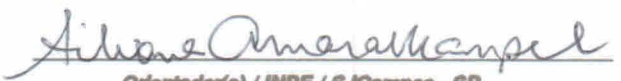
Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de **Mestre** em **Sensoriamento Remoto**

Dra. Maria Isabel Sobral Escada



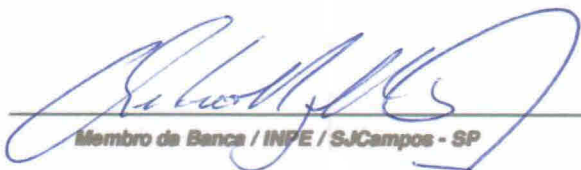
Presidente / INPE / SJC Campos - SP
() Participação por Video - Conferência
 Aprovado () Reprovado

Dra. Silvana Amaral Kampel




Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP
() Participação por Video - Conferência
 Aprovado () Reprovado

Dr. Antonio Miguel Vieira Monteiro



Membro de Banca / INPE / SJC Campos - SP
() Participação por Video - Conferência
 Aprovado () Reprovado

Dr. Camilo Daleles Rennó



Membro de Banca / INPE / SJC Campos - SP
() Participação por Video - Conferência
 Aprovado () Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

unanimidade

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de *Mestre* em
Sensoriamento Remoto

Dr. Gilberto Camara




Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dr. Reinaldo Paul Pérez Machado



Convidado(a) / USP / São Paulo - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

unanimidade

São José dos Campos, 03 de março de 2020

À Dona Maria.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Roseli e Walter, os pilares de minha existência e o norte de minhas ações.

À minha companheira, Eng. Ma. Kauanna Uyara Devens, pelo carinho e incentivo.

À minha orientadora e amiga, Dra. Silvana Amaral Kempel, que aceitou a árdua tarefa de me instruir.

Aos professores, que generosamente compartilharam parte de sua sabedoria.

Ao povo das cidades de Belém, Mocajuba, Cametá e Baião, que me recebeu com todo seu carinho e compartilhou um pouco do seu valioso tempo e de sua sabedoria ancestral.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e todos seus servidores, cuja excelência de seus ofícios permitiu o exercício do meu.

Ao laboratório de Investigação em Sistemas Sócio-ambientais (LiSS), pelas valiosas contribuições.

Aos colegas da sala ASA 55, que fizeram esta caminhada ser mais agradável.

Ao projeto MSA-BNDES (processo: 1022114003005), cujo apoio me proporcionou o primeiro contato com o povo amazônico.

Ao apoio financeiro e administrativo oferecido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

Ao longo das últimas décadas, o sensoriamento remoto de luzes noturnas se estabeleceu como uma importante ferramenta para o monitoramento de núcleos urbanos. No entanto, pouca atenção foi dada para o monitoramento das áreas rurais. Na Amazônia Legal Brasileira (AML), o espectro urbano-rural tem sido abordado de forma cada vez menos dicotômica, visto que os conceitos clássicos dessas denominações, sejam físicos, demográficos ou socioeconômicos, não parecem ser suficientes para descrever as relações e divergências do espaço urbano-rural. Esta dissertação contribui para o entendimento das relações entre os dados de luzes noturnas detectados pelo sensor VIIRS/DNB, assentamentos humanos e outras áreas estabelecidas do território da AML, para além do espaço urbano físico, ao mesmo tempo que apresenta evidências sobre como a complexidade desse território se reflete nas relações entre os seus diferentes contextos de ocupação e variáveis derivadas de dados de luzes noturnas. Dados de uso e cobertura da terra (UCT) foram integrados para compor uma maior diversidade de padrões de ocupação da AML. Com o auxílio de imagens orbitais de alta resolução do sensor RapidEye/REIS e do repositório BingMaps, constatou-se que áreas consideradas como urbanizadas não detectadas pelas composições de luzes noturnas estáveis somam apenas 3,5% de toda a área urbanizada da AML, representadas por áreas periféricas associadas a pequenos assentamentos isolados. No entanto, não são as áreas urbanizadas que compõem a maioria das áreas iluminadas, mas sim diferentes configurações de pastagens (37,26%) e vegetação natural florestal (22,52%). Em termos gerais, essas são as mesmas classes que representam a maior parte do território da AML. No entanto, testes estatísticos evidenciaram que as proporções médias das áreas de classes de uso e cobertura da terra associadas às atividades antrópicas, como pastagens, áreas urbanizadas e mosaico de ocupações, são significativamente maiores em áreas iluminadas. Em contrapartida, as proporções médias de florestas primárias são significativamente menores nessas áreas. Para atestar a influência dos diferentes contextos de ocupação sobre a proeminência da infraestrutura de iluminação exterior, primeiramente foram investigadas as correlações entre variáveis derivadas de dados de luzes noturnas e o número de estabelecimentos rurais pertencentes a uma mesma mancha contígua de luz. Embora as variáveis elencadas obtiveram coeficientes de determinação significativos (Radiância média: 0,11; Radiância total: 0,19; Área iluminada: 0,32), o percentual da variação do número de estabelecimentos rurais explicado por estas variáveis é inferior aos de outras análises similares encontradas na literatura, fator atribuído à escala de análise adotada. Por fim, as áreas iluminadas foram classificadas de acordo com a sua matriz de UCT, preservando as classes Mosaico de Ocupações e Áreas Urbanizadas, julgadas como relevantes mesmo quando não prevalentes na paisagem. Os coeficientes de determinação variaram de forma substancial quando considerado o contexto de ocupação das áreas iluminadas. Contextos nos quais não foi possível a identificação de um padrão de ocupação, obtiveram coeficientes de determinação tão ou mais baixos do que aqueles originalmente encontrados. No entanto, áreas em contextos ribeirinhos tiveram um acréscimo no coeficiente de determinação (0,56). Juntos, estes resultados evidenciam que a relação entre dados de luzes noturnas e os assentamentos humanos na AML pode ser tão complexa quanto as diferentes formas de ocupação do território, qualificando este dado como um potencial descritor do particular processo de urbanização da região amazônica.

Palavras-chave: VIIRS. Luzes noturnas. Amazônia Legal. Uso e Cobertura da Terra.

CONNECTIONS BETWEEN NIGHT-TIME LIGHTS OF THE VISIBLE INFRARED RADIOMETER SENSOR DAY/NIGHT BAND (VIIRS / DNB) AND LAND USE AND COVER IN THE BRAZILIAN LEGAL AMAZON

ABSTRACT

The remote sensing of night-time lights has been established as an important tool for monitoring urban nuclei over the past few decades. However, little attention has been paid to the monitoring of rural settlements. In the Brazilian Legal Amazon, the urban-rural spectrum has been approached in an increasingly less dichotomous way, since the classic concepts of these denominations, whether physical, demographic or socioeconomic, do not seem to be enough to describe the relations and divergences of the urban-rural environment. This dissertation contributes to the understanding of the relations between the night-time light data detected by the VIIRS/DNB sensor, human settlements and other established areas in the territory of the Legal Amazon, beyond the physical urban space, at the same time that it brings evidence about how the complexity of this territory is reflected in the relations between its different context of occupation and variables derived from night-time lights data. Data on land use and land cover were integrated to compose a greater diversity of occupation patterns in the Legal Amazon. With the help of high-resolution orbital images from the RapidEye/REIS sensor and the BingMaps repository, it was found that areas considered urbanized that were not detected by the stable night-time light composites account for only 3.5% of the entire urbanized area of the Legal Amazon, being represented by peripheral areas associated with small isolated villages. However, it is not the urbanized areas that represent the majority of the lit areas, but different settings of pastures (37.26%) and natural forested areas (22.52%). In a broadly perspective, those are the same classes that represent most of the territory of the Legal Amazon. However, statistical tests show that the average proportions of land use and land cover classes that are closely related to human activities, such as pastures, urbanized areas and mosaic of occupations, are higher when regarding lit areas. In contrast, average proportions of primary forests are lower in these areas. To check for the influence of different contexts of occupation on the prominence of external lighting infrastructure, the correlation between variables derived from night-time lights data and the number of rural buildings in the same light cluster were investigated. Although all the variables listed resulted in significant determination coefficients (Average radiance: 0.11; Total radiance: 0.19; Lit area: 0.32), the percentage of variation explained by the dependent variables were low, at least lower than the ones of other similar statistics found in the literature, a factor attributed to the scale of analysis elected by this framework. Finally, lit areas were classified according to their land use and land cover matrix, preserving the classes Mosaic of Occupations and Urbanized Areas, considered to be relevant even when they do not prevail in the landscape. The coefficients of determination changed substantially when considering the context of occupation of the lit areas. Contexts in which it was not possible to identify occupation patterns, resulted in lower coefficients than those found in the original dataset. However, areas in riverside contexts had a substantial increase of its coefficient of determination (0.56). Together, these results show that the relation between night-time light data and human settlements in the Legal Amazon can be as complex as the many forms of occupation, qualifying it as a potential descriptor of the particular urbanization process in the Amazon region.

Keywords: VIIRS. Night-time Lights. Legal Amazon. Land Use and Land Cover.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - Limiar do Data Range em função do número de observações livres de nuvens [$\log(W/m^2/sr/um)$].	18
Figura 2.2 - Gráfico de dispersão do volume populacional em função da área iluminada detectada pelo sensor DMSP/OLS em núcleos urbanos de diversos países.	26
Figura 3.1 - Localização da Área de estudo: Amazônia Legal Brasileira, Brasil.	31
Figura 3.2. Taxa de variação e distribuição da população nos Censos Demográficos, segundo as Unidades da Federação da AML e situação do domicílio.	33
Figura 3.3 – Fluxograma geral de trabalho.	41
Figura 3.4 - Fluxograma de processamento dos dados VIIRS/DNB. Nota: NTL: Níveis de radiância da composição anual VIIRS/DNB, em 10^{-9} Watts/cm ² /sr.	43
Figura 3.5 – Área do bioma Cerrado inserida na Amazônia Legal Brasileira.	46
Figura 3.6 – Operações adotadas para a estatística comparativa das proporções de área médias dos polígonos aleatórios e de luzes noturnas (PLN).	57
Figura 3.7 – Localização dos setores censitários rurais referentes ao Censo 2010 inseridos na Amazônia Legal Brasileira.	61
Figura 3.8 – Fluxograma de critérios e operações adotados para a seleção de Polígonos de Luzes Noturnas Estáveis Contíguas.	62
Figura 3.9 – Fluxograma de Contextualização dos Polígonos de Luzes Noturnas Estáveis de acordo com a Proporção das Classes de Uso e Cobertura agrupadas.	65
Figura 4.1 - Composição VIIRS/DNB de luzes noturnas do ano de 2014 para a região da Amazônia Legal Brasileira.	68
Figura 4.2 - Composição VIIRS/DNB de luzes noturnas (L- radiância) do ano de 2014 para a região da Amazônia Legal Brasileira.	69
Figura 4.3 - Mapa de uso e cobertura da terra da Amazônia Legal Brasileira, TerraClass Amazônia 2014 e TerraClass Cerrado 2013.	71
Figura 4.4 - Porcentagem de áreas iluminadas por classe de UCT.	73
Figura 4.5 - Comparação entre as porcentagens de classes de uso e cobertura da terra da Amazônia Legal Brasileira iluminada e Amazônia Legal Brasileira mapeada.	75

Figura 4.6 - Distribuição acumulada de frequências das proporções das classes de uso e cobertura da terra da Amazônia Legal Brasileira e da Amazônia Legal Brasileira iluminada.	77
Figura 4.7 - Ilustrações de áreas corretamente mapeadas pelo TerraClass como áreas urbanas sem a detecção de luzes noturnas estáveis.	83
Figura 4.8 - Ilustrações de áreas erroneamente mapeadas pelo TerraClass integrado como Áreas Urbanizadas sem a detecção de luzes noturnas estáveis.	84
Figura 4.9 – Histograma das variáveis derivadas de dados de luzes noturnas estáveis do sensor VIIRS/DNB e endereços por unidade de análise.	89
Figura 4.10 – Dispersão das amostras de variáveis derivadas de dados de luzes noturnas estáveis e do número de endereços rurais da Amazônia Legal Brasileira.	91
Figura 4.11 – Polígonos de Luzes noturnas em Áreas estabelecidas de diferentes contextos que não foram mapeadas pelo projeto TerraClass como Mosaico de Ocupações ou Áreas Urbanizadas.	98
Figura 4.12 - Dispersão das amostras de variáveis derivadas de dados de luzes noturnas estáveis e do número de endereços rurais da Amazônia Legal Brasileira em função dos contextos de uso e cobertura da terra.	103

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 - Comparação entre DMSP/OLS e SNPP/VIIRS	14
Tabela 2.2 - Série de filtros aplicados aos dados DNB, parâmetros de filtragem e limiares de filtragem.....	17
Tabela 2.3 - Disponibilização dos produtos VIIRS/DNB em função do nível de processamento.	19
Tabela 3.1 - Base de dados.....	39
Tabela 3.2 – Distribuição Cronológica da Base de Dados	40
Tabela 3.3 – Classes de UCT da Amazônia Legal Brasileira adotadas para a geração do produto TerraClass 2014 adaptado.....	44
Tabela 3.4 – TerraClass Cerrado.....	47
Tabela 3.5 - Classes de uso e cobertura da terra da Amazônia Legal Brasileira adotadas para a geração do produto TerraClass integrado.	49
Tabela 3.6 – Métricas associadas aos polígonos contíguos de luzes noturnas estáveis a partir do preenchimento de atributos.....	55
Tabela 3.7 – Distribuição dos endereços rurais da Amazônia Legal Brasileira com base dos dados do CNEFE (2010) e IBGE (2010).	59
Tabela 3.8 – Classes de uso e cobertura da terra agrupadas para a definição das métricas de contextualização.....	64
Tabela 4.1 – Valor p dos testes de t de Student e de Welch aplicados às amostras das simulações estocásticas (n= 200, $\alpha = 0,01$).	79
Tabela 4.2 – Frequência de tipos de feições associadas às áreas urbanas mapeadas pelo TerraClass Amazônia e TerraClass Cerrado não detectadas pela composição de luzes estáveis do sensor VIIRS/DNB.	85
Tabela 4.3 – Identificação e descrição dos polígonos de luzes noturnas estáveis contíguos com níveis médios de radiância elevados e dispersão das demais variáveis derivadas de dados de luzes noturnas.....	92
Tabela 4.4 – Distribuição de frequências dos polígonos de luzes noturnas estáveis em relação ao seu contexto de uso e cobertura da terra.	100

Tabela 4.5 - Distribuição de frequências dos polígonos de luzes noturnas estáveis em relação ao seu contexto de uso e cobertura da terra de áreas estabelecidas não mapeadas pelo TerraClass.	101
Tabela A.1 - Imagens RapidEye/REIS consultadas.	127

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AML	Amazônia Legal Brasileira
ATMS	Advanced Technology Microwave Sounder
CERES	Clouds and the Earth's Radiant Energy System
CNEFE	Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos
CrIS	Crosstrack Infrared Sounder
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program
DNB	Day/Night Band
DQT	Desvio quadrático total
DR	Data Range
DSAP	Defense Systems Applications Program
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EOG	Earth Observations Group
Freq.	Frequência de polígonos de luzes noturnas estáveis contíguas
IBGE	Instituto Brasileiro de geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	National and Oceanic Atmospheric Administration
NTL	Níveis de radiância da composição anual VIIRS/DNB
OLS	Operational Linescan System
OMPS	Ozone Mapping and Profiler Suite
ORCFD	Outlier-removed cloud-free composite
PIB	Produto Interno Bruto
PLN	Polígono de Luzes Noturnas Estáveis Contíguas
PMT	Photo Multiplier Tube
PRODES	Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite
Prop.	Proporção relativa ao total de polígonos de luzes noturnas estáveis.
QAV	Qualidade do ajuste da variância
REIS	RapidEye Earth Imaging System
Smd.	Similaridade
SNPP	Suomi National Polar-orbiting Partnership
TLC	Teorema do Limite Central
UCT	Uso e Cobertura da Terra
UF	Unidade da Federação
USAF	United States Air Force
vcm	VIIRS Cloud Mask
vcm-ntl	VIIRS Cloud Mask - Nighttime Lights
vcm-orm	VIIRS Cloud Mask - Outlier Removed
vcm-orm-ntl	VIIRS Cloud Mask - Outlier Removed - Nighttime Lights
vcmsl	VIIRS Cloud Mask included stray light correction
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

LISTA DE SÍMBOLOS

Sr	Ângulo sólido
Ap	Área de determinado PLN
B	Azul
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro quadrado
R ²	Coeficiente de determinação
dvp	Desvio padrão
log	Função logarítmico
ln	Função logarítmico natural
°	Grau
ha	Hectare
h	Hora
NIR	Infravermelho próximo
K	Kelvin
L	Leste
lx	Lux
m	Metro
µm	Micrometro
min	Minute
'	Minuto
nW	Nanowatts
N	Norte
EC	Número de endereços com coordenadas registradas de determinado setor censitário
ET	Número total de endereços do setor censitário
O	Oeste
π	Pi
%	Por cento
Sub	Proporção de subestimativa
km	Quilômetro
L	Radiância
"	Segundo
S	Sul
Bp	Tamanho de borda
G	Verde
R	Vermelho
W	Watts

SUMÁRIO

	Pág.
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo geral	5
1.2. Objetivos específicos.....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. O Processo de ocupação e desenvolvimento da Amazônia.....	7
2.2. Sensoriamento remoto de luzes noturnas.....	10
2.2.1. <i>Defense Meteorological Satellite Program (DMSP)</i>	10
2.2.1.1. <i>Operational Linescan System (OLS)</i>	11
2.2.2. <i>Suomi National Polar-orbiting Partnership (SNPP)</i>	13
2.2.2.1. <i>Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)</i>	14
2.2.2.2. Composições dos dados do sensor VIIRS.....	16
2.2.3. Sensoriamento remoto de luzes noturnas como indicador da distribuição e qualificação de assentamentos humanos	20
2.2.4. População e socioeconomia	23
2.2.4.1. Indicadores demográficos.....	24
2.2.4.2. Indicadores socioeconômicos.....	27
2.2.5. Considerações.....	29
3 MATERIAIS E MÉTODO	31
3.1. Área de estudo	31
3.2. Arcabouço conceitual	34
3.3. Composição e aquisição de dados	38
3.4. Processamento dos dados de luzes noturnas do sensor Visible Infrared Imaging Radiometer Suite/Day-Night Band	42
3.5. Integração dos dados de uso e cobertura da terra.....	43
3.6. Verificação das áreas urbanizadas não detectadas pelos dados de luzes noturnas estáveis do sensor VIIRS/DNB	51

3.7.	Comparação estatística das proporções de uso e cobertura da terra em áreas iluminadas.....	53
3.7.1.	Amostragem dos polígonos de luzes estáveis contíguas para a comparação entre proporções de classe e teste de hipótese.....	55
3.8.	Análise de correlação entre o número de endereços e dados de luzes noturnas estáveis.....	57
3.8.1.	Processamento dos dados de endereços rurais e critérios de amostragem.....	58
3.8.2.	Composição das amostras de endereços rurais, dados de luzes noturnas estáveis e uso e cobertura da terra.....	59
3.8.3.	Contextualização dos Polígonos Contíguos de Luzes Noturnas Estáveis em função de dados de uso e cobertura da terra.....	63
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
4.1.	Geração da composição de luzes noturnas estáveis	67
4.2.	Integração dos dados de UCT e luzes noturnas estáveis	70
4.3.	Comparação estatística das proporções de classes de UCT	76
4.3.1.	Análise descritiva das estatísticas associadas aos dados de uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira	76
4.3.2.	Considerações práticas sobre as comparações de dados de uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira	80
4.4.	Luzes noturnas estáveis como ferramenta para o mapeamento do urbano na Amazônia Legal	81
4.5.	Áreas Estabelecidas e dados de luzes noturnas.....	88
	Análise de dispersão e correlação das variáveis derivadas de luzes noturnas estáveis e dados demográficos.....	89
4.5.1.	89
4.5.2.	Relações entre o número de endereços rurais, área iluminada e contextos de uso e cobertura da terra.....	97
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	106
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111

APÊNDICE A – IMAGENS RAPIDEYE CONSULTADAS 127

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia Legal Brasileira (AML) é a maior região político-administrativa do país que, no decorrer do último século, estabeleceu-se como palco das grandes políticas econômicas nacionais, de conflitos agrários e de um processo de desenvolvimento descompassado (LOUREIRO; PINTO, 2005; BECKER, 2009a). Para Becker (2009b), o território é uma ferramenta essencialmente política, cujos os agentes que o ocupam impõem suas pretensões àqueles que não detém posse da terra. O controle territorial foi uma política do Estado brasileiro que marcou o século XX, mas que, através de políticas neoliberais solidificadas na virada do século, culminou na concentração desse poder nas mãos de grupos econômicos, excluindo a participação da sociedade civil, do Estado e das associações não governamentais na ordenação do território (ANDRADE, 2004). Por essa perspectiva, o monitoramento do território amazônico compõe, portanto, um alicerce para o entendimento das dinâmicas econômicas, políticas, sociais e ambientais da região.

Monitorar os quase 5,2 milhões de quilômetros quadrados da AML não é tarefa trivial. Neste sentido, o sensoriamento remoto se apresenta como uma promissora forma de compreender, identificar, quantificar e mapear os seus recursos naturais, bem como a presença e evolução do homem na região amazônica (FEARNSIDE, 1990). Tão importante é a importância do monitoramento do território amazônico, que partiu do Estado a principal iniciativa de mapear as áreas que sofreram alterações em sua composição natural, resultantes do desmatamento da vegetação natural florestal. O denominado Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES) monitora o corte raso na AML desde 1988 (INPE, 2019a). A taxa anual de desmatamento constitui uma informação crítica para a formulação e avaliação de políticas públicas nacionais e internacionais, voltadas à gestão do uso da terra na AML, modelos de emissão de carbono e nas negociações internacionais de mudanças climáticas (MAURANO, ESCADA e RENNO, 2019).

Tão importante quanto monitorar as alterações antrópicas sofridas pelo meio natural, é identificar quais agentes são responsáveis por essas alterações. Em

2010, uma colaboração técnica entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), mediante a demanda do Governo Federal, resultou no projeto TerraClass Amazônia. O projeto TerraClass Amazônia qualifica as classes de uso e cobertura da terra (UCT) das áreas desmatadas identificadas pelo PRODES, de dois em dois anos, servindo de subsídio para a definição de ações governamentais (COUTINHO et al., 2013). Atualmente, é possível ter acesso a duas versões do dado TerraClass, sendo que a principal diferença entre elas está na legenda adotada, um indicativo do aperfeiçoamento de método de classificação (JENSEN, 2009). A metodologia original classifica as áreas desmatadas em 12 classes, sendo que as mais relevantes estão associadas às atividades produtivas e ao contexto do desmatamento na AML, sendo: Floresta, Agricultura Anual, Pastagem¹, Vegetação Secundária, Mineração e Mosaico de Ocupações (ALMEIDA et al., 2016). Entretanto, a nova metodologia altera a denominação de algumas das classes, além de excluir a classe Mosaico de Ocupações, uma classe genérica composta por uma multitude de classes de UCT que não podem ser resolvidas em classes específicas devido à resolução espacial do mapeamento. A exclusão destes mosaicos pode ter tornado invisível uma parte dos pequenos assentamentos rurais e núcleos populacionais que adotam a agricultura familiar, algumas das diversas configurações que ocasionalmente estão associadas a esta classe.

Em face à importância global da AML, enfatizada por diversos autores (MELLO, 2006; BECKER, 2009b), e considerando a importância do monitoramento do território e de seus agentes transformadores, urge métodos que permitam identificar e caracterizar a presença humana na região amazônica, que cresce de forma persistente em taxas superiores à média nacional (SATHLER, MONTE-MÓR e CARVALHO, 2009). O sensoriamento remoto de luzes noturnas, inicialmente voltado ao monitoramento meteorológico, mostrou-se particularmente útil ao revelar a distribuição das estruturas antrópicas

¹ Inclui Pasto com Solo Exposto, Pasto Limpo, Pasto Sujo e Regeneração com Pasto.

associadas a fontes de iluminação noturna exteriores, além de outros fenômenos transientes (CROFT, 1978). Sendo o homem um dos principais agentes de mudanças na paisagem, as imagens noturnas se apresentaram como uma fonte de dados pertinente ao monitoramento da extensão e do grau das atividades humanas (ELVIDGE et al., 2013).

O sensor VIIRS/DNB (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite - Day/Night Band*), a bordo do satélite SNPP (*Suomi National Polar-orbiting Partnership*), dentre outras finalidades, é atualmente a principal ferramenta designada para o imageamento da superfície terrestre durante a noite. Embora compartilhe algumas configurações com seu antecessor - o sensor DMSP/OLS (*Defense Meteorological Satellite Program - Operational Linescan System*), VIIRS/DNB tem melhores resoluções espacial e espectral, maior sensibilidade mínima e um sistema de calibração interno, que permite a mensuração de dados físicos consistentes através do tempo (ELVIDGE et al., 2017). Seus dados são disponibilizados em composições de valores médios mensais e anuais, processadas para remoção de luzes efêmeras.

As composições do sensor VIIRS/DNB têm sido empregadas com sucesso em estudos socioeconômicos e demográficos (WANG et al., 2019), indicando que não só representam a distribuição espacial de núcleos urbanos, mas também a intensidade de fenômenos associados à proeminência da infraestrutura básica de iluminação, como a taxa de vacância em análises intraurbanas, a proporção de áreas urbanizadas e danos causados por desastres naturais e guerras (BENNETT e SMITH, 2017).

No entanto, a correlação entre dados de luzes noturnas e variáveis demográficas e socioeconômicas não são homogêneas quanto à escala de observação, sendo menos expressivas em escalas maiores (ELVIDGE et al., 2013; SHI et al., 2014b; MELLANDER et al., 2015). Mais além, os métodos envolvendo a utilização de dados de luzes noturnas para o monitoramento da distribuição da população, e também de seus aspectos socioeconômicos, não são generalizáveis, havendo a necessidade do desenvolvimento de técnicas apropriadas ao contexto geográfico e físico estudado (ELVIDGE et al., 1997; LEVIN, 2017; LEVIN e

ZHANG, 2017; MA, 2018a). A título de exemplo, estão os resultados comumente observados na construção de modelos populacionais baseados em dados de luzes noturnas: países ou regiões com contextos socioeconômicos diferentes parecem ter relações distintas entre variáveis derivadas de dados de luzes noturnas e dados demográficos (ELVIDGE et al., 1997; SUTTON et al., 2010). Essas particularidades foram atribuídas às políticas locais de implementação da infraestrutura e à conjuntura econômica da região.

Tais limitações podem ainda ser maiores em contextos diferentes do urbano. Ma (2018b) observou que 54% das áreas residenciais rurais na China não podem ser detectadas pelo sensor VIIRS/DNB, enquanto apenas 2% das áreas urbanas não são detectadas. Todas essas limitações podem ser ainda mais específicas no caso da AML. A configuração contemporânea de ocupação da região, heterogênea em sua essência, é fruto de pressões externas que se desdobraram em núcleos urbanos intimamente associados ao contexto rural e moldados de acordo com o setor econômico predominante (BECKER, 2005; LOUREIRO e PINTO, 2005; SATHLER, MONTE-MÓR e CARVALHO, 2009). Por consequência, a implementação de dados de luzes noturnas do sensor VIIRS/DNB como ferramenta para o monitoramento dos núcleos populacionais amazônicos, tanto urbanos quanto rurais, requer antes a investigação de quais outros fatores estão associados com a distribuição dos dados do sensor VIIRS/DNB.

Atualmente, os dados do projeto TerraClass permitem a identificação de núcleos populacionais em processo de urbanização e outras dinâmicas ecológicas, econômicas e produtivas da AML. No entanto, sempre há espaço para a incremento de métodos que permitam entender o território e seus agentes de mudanças. A utilização de composições de luzes noturnas estáveis tem potencial para evidenciar a distribuição espacial desses agentes e suas características, mas antes é preciso entender as relações existentes entre os dados do sensor VIIRS/DNB e as dinâmicas de UCT, suas limitações e como as relações entre esses agentes e sua infraestrutura de iluminação está relacionada ao seu contexto de ocupação e, possivelmente, à sua própria natureza.

O objetivo deste trabalho é investigar as relações existentes entre a distribuição de dados de luzes noturnas estáveis e os agentes responsáveis pela ocupação do território da AML. A natureza desses agentes foi descrita a partir do seu contexto de ocupação, baseado em métricas derivadas das classes de UCT, sendo que a definição destes contextos parte tanto dos preceitos teóricos associados às dinâmicas de UCT da AML, quanto da investigação das relações entre dados de UCT e variáveis derivadas de dados de luzes noturnas.

1.1. Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo identificar e caracterizar os potenciais atribuídos à utilização dos dados das composições de luzes estáveis do sensor VIIRS/DNB para a identificação e qualificação de núcleos populacionais e outros agentes responsáveis pela ocupação do espaço geográfico da AML. Ou seja, propõe-se investigar a distribuição das classes de UCT na AML associadas aos dados de luzes noturnas, as particularidades das dinâmicas de UCT nessas áreas e as inconsistências entre dados de luzes noturnas estáveis e áreas em processo de urbanização. Especificamente nas áreas consideradas rurais, propõem-se explorar a influência do contexto de UCT nas relações entre variáveis derivadas de dados de luzes noturnas estáveis e a distribuição da população.

1.2. Objetivos específicos

A partir das premissas estabelecidas pelo objetivo geral proposto, os seguintes objetivos específicos foram delineados:

- a) Identificar e quantificar as classes de uso e cobertura da terra associadas aos dados de luzes noturnas estáveis. Para tanto, a compatibilização dos diferentes produtos de mapeamento de uso e cobertura da terra disponíveis é fundamental para que se possa considerar os vários contextos de ocupação da AML;
- b) Estudar a relevância da associação de classes de uso e cobertura da terra relacionadas à ocupação humana através da investigação, por métodos

estatísticos, das particularidades referentes às proporções de classes UCT nas áreas iluminadas;

- c) Investigar a potencialidade da utilização dos dados de luzes noturnas estáveis gerados como ferramenta para identificar áreas urbanas e rurais da AML;
- d) Investigar as relações existentes entre os diferentes contextos de ocupação da AML, dados pela distribuição da população, representada pelos endereços rurais residenciais e não-residenciais, e as variáveis derivadas de dados de luzes noturnas estáveis do sensor VIIRS/DNB.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O Processo de ocupação e desenvolvimento da Amazônia

Historicamente, a definição de urbano surge da relação entre área e contingente populacional, ou ainda da prevalência da economia de serviços e indústrias sobre aquelas tipicamente rurais (PIZZOLI e GONG, 2007). No Brasil, mesmo o termo sendo oficialmente atribuído através dos poderes executivos locais, ainda há forte presença desses conceitos dicotômicos no processo de ordenamento territorial (VEIGA, 2003).

No contexto amazônico, essa definição é contestada por diversos autores (BECKER, 1995; SATHLER, MONTE-MÓR e CARVALHO, 2009; AMARAL et al., 2013). A matéria comum que fomenta essas discussões é o modo com que o termo se mostra inadequado à realidade das dinâmicas socioeconômicas atuais da região amazônica, ainda hoje percebida como uma região rural (MONTE-MOR, 2006). Esse paradigma prejudica o desenvolvimento regional pois negligencia suas necessidades, omitindo das políticas públicas o real fato urbano amazônico (BECKER, 2013). Nesse contexto, Becker (1995) cunha o termo "Floresta Urbanizada" para melhor traduzir as características dos núcleos populacionais amazônicos. Essencialmente, o conceito expressa a relação regional que o urbano tem no espaço amazônico. Suas relações e seus valores não se limitam ao interior das cidades e vilas, mas perfazem as comunidades menores situadas na floresta (BECKER, 1995). Tanto o equívoco comum sobre sua situação urbana quanto a pluralidade das cidades amazônicas emergem dos modelos de ocupação impostos à região, principalmente a partir da década de 1970 (BECKER, 2001; TRINDADE, 2013).

Na época, a situação geopolítica internacional colocou a soberania brasileira sobre a Amazônia em debate, o que pressionou a execução de políticas de colonização e ocupação do território amazônico, a fim de integrar o espaço amazônico e dar espaço à sua exploração (BECKER, 2005). O modelo adotado buscou a expansão da malha viária através de grandes eixos que permitissem o escoamento dos recursos naturais, além do incentivo fiscal para a apropriação de terras por investidores e colonizadores de outras regiões (LOUREIRO e

PINTO, 2005). A expansão da região se dá, portanto, por necessidades externas, que impõem à cultura amazônica, tradicionalmente familiar e extrativista, projetos extensivos de mineração, agropecuária, metalúrgicos e energéticos.

A intenção do Estado era promover o desenvolvimento da região através da inserção de capital externo. Rapidamente, o capital privado investido foi direcionado para outras regiões do Brasil ou para a aquisição de terras na própria Amazônia, visando a especulação imobiliária. Essa conduta da iniciativa privada foi sucedida por uma crise fundiária que se instaura até os dias atuais. Ao insistir na instalação do setor privado na região, o Estado promoveu políticas que favoreciam a concentração de terras por grandes investidores (BECKER, 2001). O Governo Federal passa a vender terras da União, que, eventualmente, já haviam sido ocupadas por ribeirinhos, nativos, caboclos e colonos, muitos dos quais migraram à região em busca de terra e trabalho. A fiscalização precária sob a demarcação do território favorecia a atuação de grileiros, que tiveram parte de suas terras regularizadas a partir de Medidas Provisórias, resultando em conflitos territoriais ainda mais frequentes entre grileiros e população (LOUREIRO e PINTO, 2005).

Frente à expansão pecuária e madeireira, parte da população que ainda se instalava no campo acabou sendo pressionada a migrar para núcleos que pudessem oferecer meios de subsistência diferentes daqueles encontrados no campo (LOUREIRO e PINTO, 2005). Os núcleos de ocupação da Amazônia são essencialmente heterogêneos e mutáveis, mas podem compartilhar características que permitem o entendimento dos principais processos que os tornaram concretos. Sathler, Monte-Mór e Carvalho (2009) destacam os principais aspectos desses modelos de ocupação e desenvolvimento dos núcleos populacionais na Amazônia, que podem ser entendidos da seguinte forma: (i) as cidades capitais, que se desenvolveram ainda no ciclo da borracha e, após o seu declínio, adotaram outras políticas de desenvolvimento, como o setor de serviços, turismo, indústria e extrativismo, em Belém, ou do desenvolvimento da indústria de Bens de Capital, intermediária e de Bens de Consumo voltadas para exportação, na Zona Franca de Manaus; (ii) as cidades mineradoras, que se beneficiaram dos incentivos econômicos e *royalties*

decorrentes da atuação do setor em seu território, mas que, por vezes, sofrem por não se mostrarem aptas a gerir esses recursos e lidar com os movimentos migratórios atraídos pela indústria do minério; (iii) as cidades de apoio aos campos de garimpo, que também vivenciaram um crescimento demográfico exacerbado e acabam por se tornar reféns dessa economia, caso não busquem alternativas para agregar valor à matéria-prima e se inserirem no mercado; (iv) as cidades de apoio à agroindústria, que também se diferenciam em função de como o capital industrial foi gerido na região; (v) cidades estratégicas, que se estruturam através de quaisquer uma das tipologias anteriores, mas, devido sua localização favorecida em relação à malha viária, se desenvolvem a partir do setor de serviços e comércio, atuando como entrepostos ou núcleos de escoamento de produtos.

Estas representações das cidades ainda são atuais, mas não esgotam a complexidade dos núcleos populacionais que emergiram e se estabeleceram ao longo do processo de urbanização da AML. A Floresta Urbanizada, como definida, alude principalmente às cidades médias da Amazônia, que se estruturam de maneira informal mediante pressões exógenas para servirem de bases logísticas da demanda externa dos recursos naturais (SATHLER, MONTE-MÓR e CARVALHO, 2009). O conceito visa uma melhor representação do gradiente urbano dos assentamentos amazônicos que, embora dicotomicamente categorizados como urbanos ou rurais, a transição entre estes espaços não é evidente (BECKER, 2005; DAL'ASTA, AMARAL e MONTEIRO, 2017). Winklerprins e Souza (2005) reforçam este conceito a partir da investigação das relações interpessoais de famílias inseridas no centro urbano da cidade de Santarém – PA. Os autores observaram que, mesmo que a cidade seja reconhecida como o núcleo dessas famílias, permitindo o acesso à saúde, educação e serviços básicos, suas práticas ainda se mantêm fortemente ligadas à cultura e ao meio rural. Para Côrtes (2012), a transformação recente do espaço rural na AML não advém apenas dos processos clássicos migratórios, mas sim da ascensão de um novo espaço rural, no qual a influência urbana transformou os padrões de distribuição espacial da população e do uso da terra.

São essas características ímpares do surgimento, estruturação e consolidação dos assentamentos e núcleos populacionais da Amazônia, sinteticamente expostas, que conferem à região uma dinâmica socioeconômica heterogênea, intimamente relacionada com a atuação da iniciativa privada, frequentemente amparada pelo Estado.

2.2. Sensoriamento remoto de luzes noturnas

Nesta seção serão apresentados estudos que fundamentaram e, mais tarde, consolidaram o sensoriamento remoto de luzes noturnas. Foram investigadas apenas as temáticas pertinentes à fundamentação da argumentação desse trabalho, precedidos de uma contextualização histórica do campo de estudo e da análise dos métodos de processamento atuais, especificamente relacionados à produção das composições mensais do sensor VIIRS/DNB.

2.2.1. *Defense Meteorological Satellite Program (DMSP)*

Ainda na década de 1960, o sensoriamento remoto de luzes noturnas teve como objetivo principal o monitoramento de fenômenos meteorológicos, representado pela missão DMSP². O instrumento era um modelo experimental de uma série de satélites da Força Aérea dos Estados Unidos da América (USAF, do inglês *United States Air Force*), com a missão primária de fornecer dados meteorológicos de natureza tática e estratégica (HALL, 2002). Dentre outros componentes, o satélite embarcava o sistema de câmeras Vidicon, responsável pelo imageamento noturno, sendo este denominado *Visible Day/Night Imagery* (NASA, 2015). Mediante a remoção das restrições de segurança que limitavam a aplicação dos dados do programa DMSP para fins táticos, os seus arquivos foram disponibilizados à NOAA (*National and Oceanic Atmospheric Administration*).

²O programa teve diversas nomenclaturas alfabéticas e numéricas ao longo da história: Program II; P-35; 698BH; 417; DSAP (*Defense Systems Applications Program*). Este trabalho adota a atual nomenclatura DMSP (*Defense Meteorological Space Programm*), que foi designada retroativamente (HALL, 2002).

A existência do programa DMSP, até então classificado como secreto, é anunciada publicamente em março de 1973, permitindo que novas aplicações a partir dos dados de luzes noturnas fossem vislumbradas (HALL, 2002). Croft (1973) se vale dos dados de luzes noturnas para discorrer sobre o paradigma da época quanto à queima de gases residuais decorrentes das atividades de estações de beneficiamento e extração de petróleo, visto que a queima do gás residual do processo resultava em labaredas, i. e., fachos de gás (do inglês, *gas flares*), que se destacavam nas imagens produzidas, junto aos sistemas de iluminação pública e auroras. Somente em 1978 o autor traz uma abordagem mais precisa sobre a valia dos dados do recém integrado sensor OLS para o monitoramento de recursos naturais, ainda enfatizando a qualificação de postos de queima de gases residuais e outros fenômenos naturais, como raios, auroras, vulcões e queima de biomassa (CROFT, 1978).

2.2.1.1. Operational Linescan System (OLS)

O sensor OLS foi integrado ao programa DMSP em 1976. O equipamento é sensível à faixa do visível (0,5 - 0,9 μm) e durante a noite é capaz de registrar níveis de radiância na ordem de $10^{-10} \text{ W/cm}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$, devido à presença de um fotomultiplicador (PMT - *Photo Multiplier Tube*). O sensor atua em duas resoluções espaciais: fina (0,56 km) e total (2,8 km), com uma faixa de imageamento de 3.000 km (ELVIDGE et al., 2013). Em sua concepção original, o equipamento seria utilizado para o monitoramento de nuvens em condições de baixa irradiância, também para fins meteorológicos (WELCH e ZUPKO, 1980). No entanto, ao longo das décadas, outras aplicações puderam ser vislumbradas.

As primeiras considerações quanto à relevância científica dos dados de luzes noturnas do sensor OLS abordam aspectos físicos associados às fontes de emissão de luzes noturnas. Welch e Zupko (1980) apresentaram a primeira análise efetivamente quantitativa sobre os dados de luzes noturnas. Os autores observaram que a intensidade da radiância registrada pelo sensor OLS poderia ser correlacionada com os padrões de consumo energético de áreas urbanas, porém os parâmetros técnicos do produto gerado pelo sensor OLS, como a

resolução espacial e quantização, limitavam o desempenho do modelo empregado.

As principais limitações associadas à utilização dos dados do sensor OLS para o monitoramento de áreas urbanas decorriam da persistência de luzes efêmeras que descaracterizavam os assentamentos humanos, da saturação dos valores de números digitais e do chamado efeito *overflow*. A saturação ocorre devido à alta sensibilidade do sensor, aliada à sua quantização de apenas seis bits. Estas características conferem ao sensor um amplo espectro de registro. Como a configuração do ganho durante o imageamento noturno é maximizada para a detecção de nuvens sob iluminação lunar, áreas de alto brilho, como cidades e fachos de gases, atingiam o valor de número digital máximo de 63, comprometendo a análise quantitativa nessas áreas (HSU et al., 2015). Já o efeito *overflow* é resultado do registro de níveis de radiância onde efetivamente não há fontes de luzes noturnas, geralmente causado pela reflexão e retroespalhamento da radiação (ELVIDGE et al., 2013). O efeito é mais intenso em áreas próximas a espelhos d'água e áreas com alto albedo, ou quando nuvens pouco espessas sobrepõem a região imageada (IMHOFF et al., 1997).

Mesmo após o seu evidente potencial, a década de 1980 foi marcada por um hiato relativo à exploração dos dados de luzes noturnas, devido ao desinteresse da comunidade científica pelo monitoramento de áreas urbanas (IMHOFF et al., 1997). O primeiro mapa global de fontes de radiação noturna foi publicado em 1989, com resolução espacial de 10 km, produzidos a partir dos dados analógicos do sensor OLS (SULLIVAN, 1989). Somente em 1992 os filmes passaram a ser compilados e digitalizados para a composição de um repositório global de dados de luzes noturnas (ELVIDGE et al., 1997).

Tendo em vista os problemas ainda associados aos dados do sensor OLS, Elvidge et al. (1997) propuseram um algoritmo para eliminação de fontes de luzes efêmeras, baseado na integração de dados temporais e análise automática

do *background* local^{2,3}. O efeito *overflow* ainda era um aspecto proeminente, sendo abordado por Imhoff et al. (1997) a partir da análise empírica dos dados, que buscava identificar o limiar de números digitais que pudesse diferenciar áreas que fossem efetivamente fontes de luzes e regiões contaminadas pela reflexão ou espalhamento da radiação eletromagnética. Trabalhos recentes ainda se valem de métodos semelhantes para mitigar o efeito *overflow* e identificar núcleos populacionais, e.g., Sutton et al. (2010), Zhou et al. (2015) e Liu et al. (2016).

A missão DMSP foi encerrada em 2015, sob a justificativa de que um sistema de uma nova geração de satélites deveria substituir o DMSP. Dos 28 satélites que foram projetados para integrar a constelação DMSP, 20 carregavam o sensor OLS (Blocos 5D-1 até 5D-3), designados F1 até F20. Destes, o satélite F5 (1981) enfrentou problemas no procedimento de lançamento, resultando em sua perda, o satélite F19 (2014) teve problemas operacionais dois anos após seu lançamento e o satélite F20 (2015) foi desmontado após o encerramento do programa (HALL, 2002; GRUSS, 2016).

2.2.2. *Suomi National Polar-orbiting Partnership (SNPP)*

O programa SNPP se desenvolveu a partir de uma parceria entre as agências NOAA e *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, em resposta às demandas por uma nova geração de satélites aptos a fornecer dados que auxiliassem o monitoramento de recursos naturais, fenômenos meteorológicos e processos associados às mudanças climáticas. O primeiro satélite do programa foi lançado em 2011, portando cinco instrumentos diferentes: o *Cross-track Infrared Sounder (CrIS)*, o *Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS)*,

²Compõem o *background* quaisquer *pixels* com registro de radiância onde não há fontes radiantes (ELVIDGE, 2017).

³ Posteriormente, este algoritmo foi adaptado para a geração das composições de luzes estáveis do sensor DNB. Os detalhes dos processamentos empregados são expostos na seção 2.2.2.2

o *Advanced Technology Microwave Sounder (ATMS)*, o *Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES)* e o *VIIRS (NASA, 2015)*.

2.2.2.1. *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)*

O sensor VIIRS é considerado o sucessor do programa DMSP, pois, dentre outros instrumentos, dispõe da banda *Day/Night Band (DNB)* que adquire imagens pancromáticas na faixa do visível e do infravermelho-próximo. Essas imagens são obtidas durante a noite, em condições de baixa irradiância, de forma similar ao sensor DMSP/OLS (ELVIDGE et al., 2013). De fato, o sensor VIIRS compartilha algumas características básicas com o seu antecessor, como órbita, faixa de imageamento e o espectro sensível (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Comparação entre DMSP/OLS e SNPP/VIIRS

Variável	DMSP/OLS	SNPP/VIIRS
Órbita	Polar - 850 km altitude, 98,8 graus de inclinação, 102 minutos	Polar - 850 km altitude, 98,7 graus de inclinação, 102 minutos
Faixa de imageamento	3.000 km	3.000 km
Horário de passagem	~19h:30min	~01h:30min
Amplitude espectral de baixa intensidade	0,5 a 0,9 μm	0,5 a 0,9 μm
Quantização	6 bit	14 bit
Sensibilidade mínima	5E-10 W/cm ² /sr/ μm	2E-11 W/cm ² /sr/ μm
Resolução espacial	5 km x 5 km ao nadir	742 m x 742 m

Fonte: Adaptada de Elvidge et al. (2013).

Com o intuito de obter consistência espacial, um programa a bordo do instrumento agrega as células em sub-pixels, representadas pelos detectores, em 32 modos diferentes, variando de acordo com a direção de varredura e de voo. O resultado é uma resolução espacial de 755 ± 22 metros na direção de voo e 740 ± 43 metros na direção de varredura, consistentes ao longo de toda a faixa

de imageamento (NOAA, 2017a). A quantização de 14 bit do sensor VIIRS, aliada à melhor resolução espacial, reduzem os problemas de saturação e *overflow*, antes dominantes nos produtos do sensor DMSP/OLS. A sensibilidade do sensor também é maior, na ordem de aproximadamente 10^{-11} W/cm²/sr/μm (ELVIDGE et al., 2013).

O sensor VIIRS também dispõe de um intercalibrador interno, que garante consistência temporal quanto à aquisição dos dados e maior confiabilidade na associação de seus dados a grandezas físicas. Estas características o tornam mais atrativo para a análise de fatores ambientais, físicos e econômicos associados às variações da distribuição espacial e da intensidade de luzes noturnas, permitindo avanços em estudos antes tomados apenas como promissores a partir dos dados do sensor DMSP/OLS (ELVIDGE et al., 2013).

Apesar dessas qualidades, os produtos do sensor VIIRS/DNB ainda devem ser submetidos a uma série de processamentos, a depender dos objetivos de análise. No que tange ao sensoriamento remoto de luzes noturnas, luzes efêmeras e dados considerados como *background*, ainda exercem influência em modelos demográficos e socioeconômicos, embora em menor escala, quando comparado ao DMSP/OLS (SHI et al., 2014a). Outro problema, agora associado à alta sensibilidade do sensor VIIRS, é a maior influência de fontes de radiação difusa exógenas à superfície terrestre, como luminescência atmosférica e estelar (LIANG et al., 2014). Segundo Miller et al., (2012), estes fatores são variáveis no tempo e espaço e, por isso, compõem desafios para abordagens qualitativas dos dados de luzes noturnas. Atualmente, a NOAA disponibiliza uma série de dados provenientes do sensor VIIRS/DNB em diferentes etapas de processamento, sendo que as mais abordadas pela literatura associada ao estudo de luzes noturnas são as composições de luzes estáveis mensais e anuais, e. g. (SHI et al., 2014b; SHARMA et al., 2016; DOU et al., 2017; LEVIN, 2017; MA, 2018a)

A sensibilidade dinâmica do sensor VIIRS, que é adaptável às condições de iluminação, permitiram um avanço nos estudos de diversos processos ambientais. Com tal dinamicidade, processos meteorológicos passaram a ser monitorados também durante o período noturno, informações que até então

eram restritas ao sensoriamento do espectro termal (MILLER et al., 2012). No entanto, no que se refere ao estudo de processos antropogênicos, associados de alguma forma à dinâmica de iluminação noturna, aspectos como o *overflow* e *background* devem ser removidos, uma vez que estes têm potencial para descaracterizar assentamentos humanos.

2.2.2.2. Composições dos dados do sensor Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

As composições de luzes estáveis produzidas pelo Grupo de Observações da Terra (EOG, em inglês *Earth Observations Group*), associado à NOAA, consistem em imagens de níveis médios de radiância detectados em determinado período. O propósito do seu processamento é apresentar um produto que evidencie apenas luzes consideradas estáveis, ou seja, níveis de radiância associados a artefatos que emitam luz durante o período noturno em regime estático, tanto espacial quanto temporal (ELVIDGE, 2013). Para isso, um procedimento de exclusão de dados contaminados da banda DNB precede o processamento das composições. Os principais agentes de contaminação são: raios, iluminação lunar, cobertura por nuvens e radiação dispersa na atmosfera. Cada um desses fenômenos é atenuado ou removido através de métodos específicos, sendo a maioria baseada em limiares de parâmetros físicos ou texturais (Tabela 2.2).

Os filtros (a) e (d) removem quaisquer *pixels* fora do limiar estabelecido e estão relacionados à incidência de raios solares no sensor em altas e médias latitudes, em períodos próximos ao solstício de verão. De forma similar, o filtro (b) remove quaisquer pixels que sejam associados à iluminação lunar, baseado no período e posição relativa da lua. Ambos os filtros (c) e (e) buscam remover pixels contaminados por radiação emitida por descargas elétricas na atmosfera e partículas de alta energia, baseado no contexto espacial do pixel e nos seus padrões geométricos.

Tabela 2.2 - Série de filtros aplicados aos dados DNB, parâmetros de filtragem e limiares de filtragem.

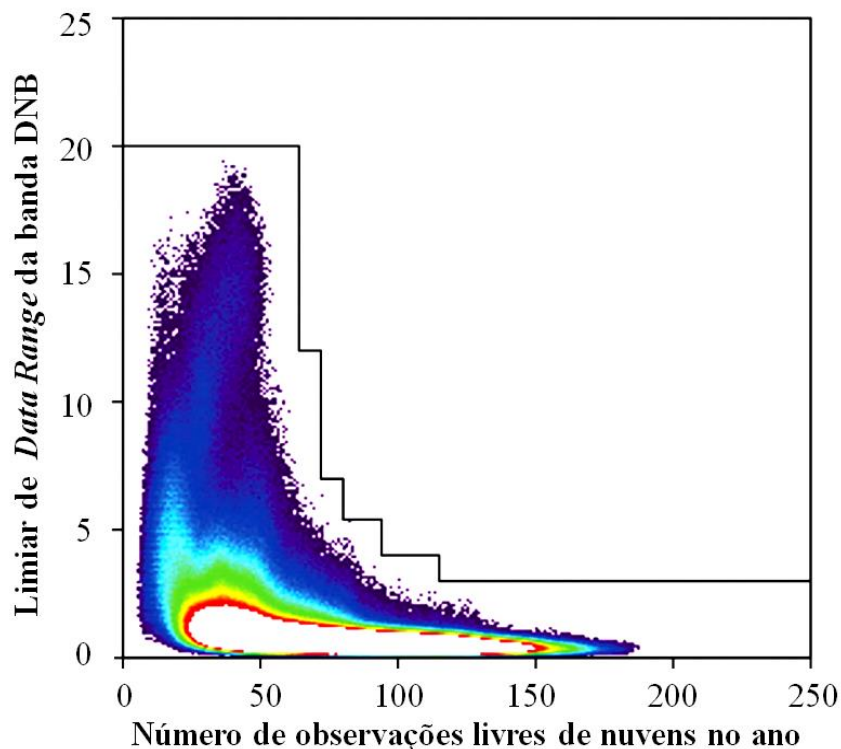
Filtro	Parâmetro	Limiar
a. Iluminação solar	Ângulo zenital solar	$> 10^\circ$
b. Iluminação lunar	Iluminância lunar	$> 0,0005 \text{ lx}$
c. Partículas de alta energia	Radiância registrada e SHI	Radiância $> 1.000 \text{ nW}$ e SHI $> 0,995$
d. Radiação difusa	Ângulo zenital solar ao nadir	$90 - 118,5^\circ$
e. Raios	Diferença de radiância relativa	$>10\%$ e >24 por faixa horizontal
f. Remoção de outliers	Desvio padrão (dvp)	Remoção de outliers superiores e inferiores até que o dvp estabilize em 1% ou 0,075
g. Identificação de background	DR e Lambda-1	DR é relativo ao número de observações livres de nuvens. Lambda-1 $>-0,55$
h. Superfície iluminada	Diferença entre radiância ORCFC logaritmizado e background (Delta)	Delta $>0,8$
i. Fachos de gás	Média da temperatura de chamas durante a noite (VIIRS) e frequência de detecção	Temperatura $> 1.200 \text{ K}$ e frequência $> 1\%$

Fonte: Adaptada de Elvidge et al. (2017).

O objetivo principal do filtro (f) é zerar os valores dos pixels da banda DNB que tenham valores anômalos em relação à sua vizinhança, geralmente representados pela queima de biomassa. Esta operação se baseia na análise da estabilização do desvio padrão dos níveis de radiância dos pixels em uma grade de aproximadamente 12,5 mil ha (15 x 15 pixels) através da remoção gradativa de valores extremos. Os procedimentos (g) e (h) buscam identificar o *background* através de dois filtros diferentes. O filtro conhecido como *Data Range* (DR) é um filtro de convolução que atua em uma janela móvel do tipo Kernel (3 x 3, neste caso). A aplicação deste filtro parte da premissa de que existe um limiar de

variação plausível entre um pixel e seus vizinhos imediatos. Este limiar é variável em função do número de observações livres de nuvens, uma vez que a presença destas pode aumentar a amplitude de variação dos níveis de radiância dos pixels contidos em uma pequena janela (Figura 2.1).

Figura 2.1 - Limiar do Data Range em função do número de observações livres de nuvens [$\log(W/m^2/sr/um)$].



Nota: quanto maior o a frequência de nuvens registrada ao longo de um ano, maior o limiar estabelecido para a definição do *background*.

Fonte: Adaptada de Elvidge et al. (2017).

Uma vez eliminado o *background*, um segundo filtro textural é aplicado para identificar luzes tênues que possam ter sido removidas junto ao *background*. O filtro Lambda-1 busca quadrantes que tenham níveis de radiância convexos, i. e., *pixels* centrais com valores maiores que sua circunvizinhança, que é a textura típica de luzes isoladas de baixos níveis de radiância. Por fim, fachos de queima

de gases são removidos através de uma máscara constituída por pixels com temperatura estimada superior a 1.200 K e de frequência maior que 1%.

Os procedimentos de filtragem do *background* e de remoção de *outliers* se baseiam na disponibilidade de observações livres de nuvens. Em muitas regiões do globo o número dessas observações é pequeno ou inexistente, em determinadas épocas do ano. Dessa forma, apenas as composições anuais são submetidas ao processo de remoção de *background* (NOAA, 2017b). Como resultado dessa cadeia de processamentos, diferentes produtos são gerados, cada qual submetido a uma cadeia específica de processos de remoção de luzes efêmeras. As composições VIIRS são reamostradas para uma grade geográfica de 15 arco-segundos e então denominadas a partir da configuração na qual foram processadas, sendo elas: *VIIRS Cloud Mask (vcm)*; *VIIRS Cloud Mask included stray light correction (vcmsl)*; *VIIRS Cloud Mask - Nighttime Lights (vcm-ntl)*; *VIIRS Cloud Mask - Outlier Removed (vcm-orm)*; *VIIRS Cloud Mask - Outlier Removed - Nighttime Lights (vcm-orm-ntl)* (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Disponibilização dos produtos VIIRS/DNB em função do nível de processamento.

Produto	Nível de processamento				Disponibilização	
	Nuvens	Radiação dispersa	Outliers	Background	Mensal	Anual
vcm	Removido	Removido	Não removido	Não removido	Sim	Sim
vcmsl	Removido	Processado*	Não removido	Não removido	Sim	Sim
vcm-orm	Removido	Removido	Não removido	Não removido	Não	Sim
vcm-orm-ntl	Removido	Removido	Removido	Removido	Não	Sim
vcm-ntl	Removido	Removido	Não removido	Removido	Não	Sim

*Nota: Devido à indisponibilidade de dados em altas latitudes em determinados meses, as composições mensais são produzidas em duas formas de processamento: a primeira exclui observações contaminadas por raios solares (vcm, menor disponibilidade nos polos e maior qualidade); a segunda adota um algoritmo de correção das observações (vcmsl, maior disponibilidade nos polos e menor qualidade).

Fonte: Adaptado de NOAA (2017a).

Embora as características da banda DNB sejam superiores às de seu antecessor, o sensor VIIRS ainda tem um histórico pequeno de atuação. Ao total, pouco mais de oito anos de dados foram processados em composições mensais, contra duas décadas do sensor OLS. Aliado a isto, o tempo de processamento das composições anuais do sensor VIIRS é limitado. As únicas composições anuais disponibilizadas atualmente referem-se aos anos de 2015 e 2016, período curto demais para evidenciar a evolução de fenômenos socioeconômicos e demográficos. As composições mensais não são consideradas produtos de luzes estáveis e, por isso, a variação dos níveis de radiância é correlacionada com fatores físicos do ambiente, principalmente às sazonalidades do albedo da superfície terrestre (LEVIN, 2017).

Levin (2017) constatou que a ausência de vegetação e a presença de neve são um dos principais fatores associados com a flutuação dos níveis de radiância das composições mensais do sensor VIIRS no hemisfério norte. No entanto, ainda não há estudos que tenham explorado o efeito das sazonalidades ambientais mais comuns em regiões equatoriais e tropicais sob os produtos da banda DNB. O intenso regime de chuvas pode influenciar os níveis de radiância registrados pelo sensor, não só pela indisponibilidade de observações livres de nuvens, mas também pela influência da umidade no albedo da superfície. Wang et al., (2005) e Sugathan, Biju e Renuka (2014), constataram que o albedo de determinados tipos de solo varia exponencialmente em função da umidade. Considerando que a região amazônica tem um regime de chuvas intenso e concentrado, genericamente, entre os meses de janeiro e julho (SILVA DIAS, COHEN e GANDÚ, 2005), é plausível que estes aspectos meteorológicos também estejam correlacionados com as variações nos níveis de radiância registrados.

2.2.3. Sensoriamento remoto de luzes noturnas como indicador da distribuição e qualificação de assentamentos humanos

Os trabalhos precursores do sensoriamento remoto de luzes noturnas são representados pela associação dos dados do sensor DMSP/OLS com o

consumo de energia elétrica em grandes centros urbanos (WELCH, 1980; WELCH e ZUPKO, 1980). A disponibilização destes dados se restringia ao formato analógico que, somada às limitações técnicas do sensor, limitaram o escopo dos trabalhos na época (ELVIDGE et al., 1997). A conversão e disponibilização dos dados do sensor DMSP/OLS em formato digital foram determinantes para que novos trabalhos buscassem consolidar o potencial dos dados do sensor DMSP/OLS para evidenciar características de assentamentos humanos.

Com o processamento dos dados em composições de luzes estáveis, Elvidge et al. (1997) trouxeram evidências de que variáveis como o consumo de energia elétrica, PIB e volume populacional tinham um alto grau de correlação com a área iluminada detectada pelo sensor DMSP/OLS, generalizável em nível nacional. Estes resultados, juntos à disponibilização gratuita dos dados com alto nível de processamento, colaboraram para que houvesse um aumento no número de trabalhos que buscavam monitorar e mapear o consumo energético em escalas continentais e nacionais. Os trabalhos passaram a abordar também aspectos como a associação temporal dessas variáveis, o impacto ecológico da iluminação urbana sobre a fauna e o aumento de performance dos modelos de consumo energético através de métodos adicionais de correções associados a aspectos físicos (ZHAO et al., 2006; CHAND et al., 2009; LETU et al., 2010; HE et al., 2014).

Paralelamente, outros autores buscaram abordar as limitações associadas com a sensibilidade do sensor DMSP/OLS e a influência da escala da análise na aderência de modelos estatísticos abordados anteriormente (AMARAL et al., 2005; AMARAL et al., 2006; TOWNSEND e BRUCE, 2010). Em escalas maiores, como em nível de províncias e municípios, a acurácia de estimativas baseadas em luzes noturnas é significativamente afetada por fatores como a saturação do sensor e o efeito *overflow* (TOWNSEND e BRUCE, 2010). Apesar de suas configurações rudimentares, o sensor DMSP/OLS se mostrou sensível a fenômenos socioeconômicos e físicos. Em um estudo pioneiro na AML, Amaral et al. (2005) constataram que a aderência de modelos estatísticos para a estimativa do consumo energético e contingente populacional na escala

municipal depende de uma análise crítica de diversos fatores associados às luzes, como a restrição aos núcleos urbanos, remoção de municípios onde há a presença de indústrias de capital intensivo ou baixa frequência de luzes registradas.

No que tange ao sensor VIIRS/DNB, tanto a sua maior sensibilidade, quanto sua quantização mais ampla, beneficiaram a acurácia de estimativas de consumo energético, quando comparado ao seu predecessor. Outra vantagem, ressaltada anteriormente, é a confiabilidade que o sistema interno de calibração garante ao processo de conversão dos números digitais em grandezas físicas. Embora ambos os sensores apresentem modelos com melhores ajustes, à medida que a escala de análise é amplificada, as estimativas baseadas nos dados do sensor VIIRS/DNB têm coeficientes consistentemente superiores aos do DMSP/OLS (SHI et al., 2014b).

Os estudos ao longo das quase duas décadas de operação do sensor DMSP/OLS praticamente consolidaram a relação entre consumo energético e os níveis de radiância registrados pelos sensores orbitais. Diante deste conhecimento e das notórias vantagens do sensor VIIRS/DNB, trabalhos mais recentes buscaram ser mais inventivos, abordando a correlação entre níveis de radiância e consumo de energia elétrica como premissa e não como problemática. Chen et al. (2015) utilizam a premissa de relação entre o consumo energético e os níveis de radiância do sensor VIIRS para estimar a taxa de desocupação de imóveis em metrópoles americanas. No contexto de países emergentes, Mann, Melaas e Malik (2016) apresentaram evidências de que os dados VIIRS/DNB poderiam ser utilizados para o monitoramento de áreas onde houve interrupção do fornecimento de energia elétrica, baseado no erro absoluto dos dados de níveis de radiância em diferentes cidades na Índia.

Chowdhury et al. (2018) apresentaram evidências de que os padrões de consumo de energia elétrica, representados pelos níveis de radiância de composições noturnas, variam no contexto intraurbano e podem estar associados à qualidade de vida da população em países subdesenvolvidos. A utilização de dados de sensoriamento remoto é particularmente útil nessas

regiões, tipicamente carentes de informações precisas e continuadas sobre a infraestrutura básica disponível à população, uma vez que o acesso à energia elétrica e a presença de iluminação pública são aspectos considerados como fundamentais para o bem-estar humano (SMILL, 2003). Em países considerados como desenvolvidos, ou de primeiro mundo, esta relação pode não ser tão clara, visto que a modernização de um sistema de iluminação ou a implementação de políticas de consumo energético sustentável podem levar a uma redução na radiância emitida por núcleos urbanos e ainda assim uma melhora na qualidade de vida (KYBA, KUESTER e KUECHLY, 2017). Neste sentido, embora a associação do consumo energético com qualidade de vida e bem-estar socioeconômico seja intuitiva, é preciso refletir sobre a relação entre parâmetros estatísticos de uma grandeza física registrada por um sensor óptico e o nível de satisfação de determinada população.

2.2.4. População e socioeconomia

O conceito de indicadores socioeconômicos parte da necessidade de mensurar aspectos econômicos e sociais que possam traduzir e quantificar a condição de vida de um indivíduo ou do grupo no qual ele se insere (JANNUZZI, 2012). Estes indicadores têm papel fundamental no processo de construção de políticas públicas, pesquisas científicas e monitoramento das condições sociais. Por mais úteis que tais indicadores tenham se provado ao longo das décadas, sua utilidade depende, em primeiro momento, da aquisição da informação básica que virá a compor o indicador. Neste contexto, a desigualdade econômica e social gera uma situação inconveniente, na qual instâncias governamentais que mais se valeriam dos indicadores socioeconômicos são aquelas que, geralmente, dispõem de menos recursos para tê-los. No sentido geopolítico, os países subdesenvolvidos e em desenvolvimento representam esta situação.

A noção de que o sensoriamento remoto de luzes noturnas serviria como ferramenta de monitoramento de aspectos socioeconômicos surge no final da década de 1990, como alternativa ou complemento aos indicadores socioeconômicos (ELVIDGE et al., 1997; IMHOFF et al., 1997). Estes estudos se desenvolveram a partir da hipótese inicial de que a distribuição espacial e a

intensidade de luzes noturnas, bem como outros parâmetros desses dados, estariam correlacionados com aspectos da situação humana no espaço geográfico. Estes aspectos nem sempre se restringem aos indicadores socioeconômicos, de tal modo que é comum autores abordarem variáveis socioeconômicas e demográficas simultaneamente. Estas duas ciências são complementares e permeiam-se em diversas significâncias, o que confere a necessidade de um delineamento das definições abordadas por este trabalho. Sandroni (1999) divide a demografia em duas instâncias principais: (1) a análise demográfica, que estuda a relação do balanço na composição populacional a partir dos processos de natalidade, mortalidade, imigração e emigração; (2) o estudo populacional, que busca associar estes dados às características de ordem psicológica, econômica, sociológica e geográfica. Como exposto, a segunda instância é mais abrangente e depende da primeira, além de se sobrepor aos sentidos ora também atribuídos à socioeconomia. Afinal, as próximas seções tratam como indicadores demográficos aqueles que se referem às características de distribuição da população no espaço-tempo e os processos diretamente envolvidos no balanço populacional, enquanto que indicadores socioeconômicos são aqueles associados às representações das características do meio social do indivíduo ou grupo, bem como sua relação com o mercado de consumo.

2.2.4.1. Indicadores demográficos

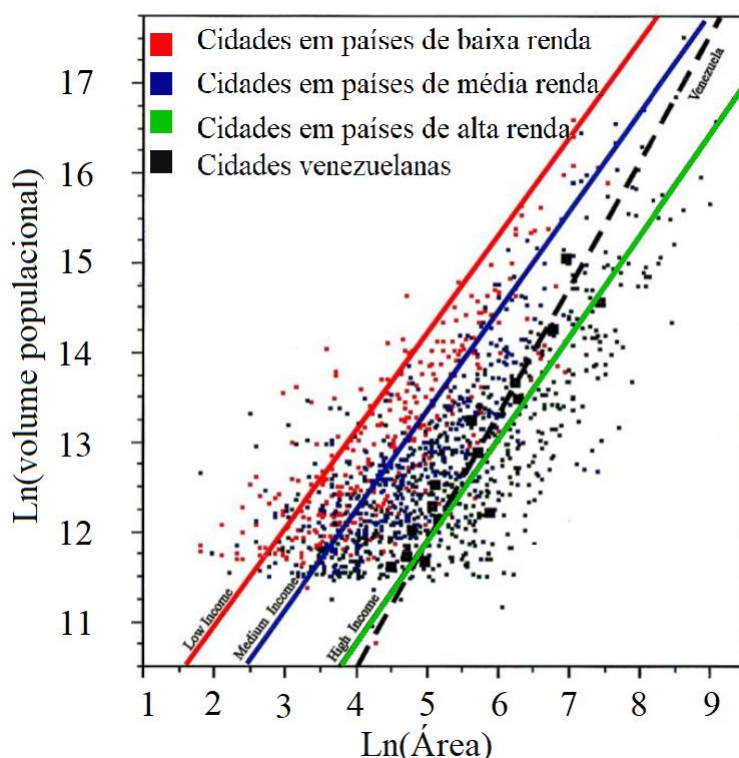
No âmbito demográfico, Welch (1980) traz a primeira análise de correlação entre volume populacional e luzes noturnas. Devido à disponibilização analógica dos produtos do sensor DMSP/OLS, a variável derivada de luzes noturnas era representada pelas medidas feitas por um densitômetro. A ausência de dispositivos de calibração interna no satélite comprometia a consistência radiométrica dos produtos, o que dificultava a generalização de um modelo baseado nestes dados, mesmo que em escalas menores. Mais tarde, Elvidge et al. (1997) identificaram um alto grau de correlação linear entre a área total dos dados de luzes das composições estáveis do sensor DMSP/OLS e o volume populacional de países com diferentes graus de desenvolvimento. Já neste

momento, os autores destacam que melhores resultados poderiam ser obtidos mediante modelos específicos para cada país.

Em 1999, a missão DMSP contava com três sensores OLS em órbita, o que urgia a necessidade de métodos de intercalibração. Elvidge et al., (1999) apresentam então um método de intercalibração voltado especificamente para a identificação de núcleos populacionais. Para isto, os autores testaram diferentes configurações de ganho do fotomultiplicador PMT, com o intuito de estabelecer um balanço entre saturação e omissão de baixos níveis de radiância. A associação dos níveis cumulativos de radiância tinham maior correlação com o volume populacional do que a área total iluminada. Este resultado era mais proeminente em escalas municipais, pois a dispersão dos dados de área iluminada e população eram significativamente maiores. Tais resultados poderiam estar associados a dois fenômenos diferentes: a relação entre área iluminada e população era variável entre municipalidades; a proporção entre dado e ruído aumentava significativamente à medida que maiores escalas eram analisadas.

Sutton et al., (2001) observaram que modelos diferentes poderiam ser empregados para grupos de países categorizados de acordo com sua renda per capita. Núcleos populacionais de países com menor renda estão associados a menores áreas ocupadas pela população (Figura 2.2), o que sugere que a densidade populacional de um país pode ser reflexo do poder aquisitivo de sua população. Em contrapartida, também é possível que núcleos populacionais de países desenvolvidos tenham infraestrutura de iluminação pública menos proeminente que as de países menos desenvolvidos, de modo que determinadas regiões possam ter sido omitidas pelo valor mínimo de frequência de detecção adotado.

Figura 2.2 - Gráfico de dispersão do volume populacional em função da área iluminada detectada pelo sensor DMSP/OLS em núcleos urbanos de diversos países.



Fonte: Adaptada de Sutton et al. (2001).

Os trabalhos que utilizaram a área total iluminada de núcleos urbanos como variável preditora baseiam-se, em sua maioria, na premissa da relação entre a área de uma cidade e seu volume populacional defendida por Tobler (1969). Doll e Muller (2000) buscaram outra abordagem que considerasse a morfologia dos dados de luzes como variável explicativa da própria distribuição espacial da população. O estudo se desdobra a partir da hipótese de que áreas com maiores níveis de radiância teriam maior volume populacional, o que não se provou uma hipótese consistente. Os autores observaram que haviam discrepâncias entre as variáveis em áreas centrais da cidade de Londres, Inglaterra. Nessas áreas, diversas infraestruturas são iluminadas, mesmo não estando associadas a habitações, diferente do que ocorre em localizações suburbanas. Outros estudos atestaram que a iluminação de estruturas industriais afetava significativamente as estimativas populacionais (AMARAL et al. 2005; AMARAL et al. 2013). Amaral

et al. (2013) concluíram que os dados estáveis do sensor DMSP/OLS são indicativos mais precisos sobre a presença de assentamentos humanos em condições urbanas na região amazônica do que sobre as características demográficas de assentamento com população inferior a 50.000 habitantes.

A maioria dos trabalhos voltados para a estimativa do volume populacional a partir de informações sobre luzes noturnas é baseada em dados do sensor DMSP/OLS. Embora estudos tenham constatado que melhores estimativas podem ser obtidas a partir dos dados VIIRS/DNB, as vantagens deste sensor têm sido mais exploradas por estudos envolvendo aspectos socioeconômicos, possivelmente devido aos seguintes pontos: (i) sua resolução espacial mais fina permite identificar uma maior variabilidade dos níveis de radiância em núcleos populacionais, não necessariamente correlacionados com o volume populacional, mas sim com as características da infraestrutura de iluminação exterior; (ii) a maior quantização do sensor torna o efeito de saturação dos dados praticamente inexistente em núcleos urbanos, como atestado por Elvidge et al. (2013); (iii) os modelos para a estimativa populacional em escalas superiores às continentais e nacionais não são generalizáveis, possivelmente porque dependem de fatores como as políticas locais de organização do território e infraestrutura.

2.2.4.2. Indicadores socioeconômicos

Dois vertentes globais de estudos envolvendo indicadores socioeconômicos e demográficos podem ser identificadas: a primeira envolve a análise do grau de associação entre luzes noturnas e esses indicadores; e a segunda utiliza as estatísticas dos dados de luzes noturnas como indicadores per se. No que diz respeito à primeira vertente, Elvidge et al. (1997) identificaram um alto grau de correlação linear entre o PIB (Produto Interno Bruto) e variáveis derivadas de luzes noturnas de diversos países, ainda referentes aos dados do sensor DMSP/OLS. A premissa deste e outros trabalhos remetem aos estudos que associaram o acesso à energia elétrica ao poder aquisitivo de determinada população. Quanto ao aspecto geográfico, Doll, Muller e Morley (2006) apontam que a relação entre luzes noturnas e PIB é variável em regiões com contextos

socioeconômicos distintos, de forma semelhante às outras variáveis anteriormente destacadas. Doll et al. (2006) encontraram correlações entre luzes noturnas e PIB em países da Europa ocidental e regiões subnacionais norte-americanas. Essas correlações podem se diferir quanto ao setor econômico predominante da região ou às diferenças no contexto histórico de desenvolvimento das suas partes integrantes.

Assim como para outras variáveis supracitadas, os coeficientes de determinação R^2 tendem a ser maiores em escalas mais abrangentes, bem como quando associados aos dados VIIRS/DNB (ELVIDGE et al., 2013; MELLANDER et al., 2015). No entanto, as vantagens oferecidas pelo maior detalhamento espacial dos dados do sensor VIIRS/DNB podem ser subaproveitadas devido à indisponibilidade de dados de natureza socioeconômica em escalas maiores, especialmente o PIB. Na tentativa de investigar a relação entre PIB e luzes noturnas em escalas maiores, Levin e Zhang (2017) consideraram a utilização do PIB per capita em suas análises. Os resultados foram pouco promissores (coeficiente de Spearman = 0,339). Em teoria, a distribuição do PIB em relação à população residente torna possível a análise de escalas tão específicas quanto a menor unidade onde há contagem de residentes. Na prática, a abordagem pressupõe que todos os habitantes de um núcleo populacional se encontram em igual situação econômica, o que é uma consideração pouco plausível.

A respeito dessas considerações, Wang et al., (2019) utilizaram os dados de luzes noturnas como parâmetros para a inserção em um modelo de estimação do PIB de Uganda ao nível subnacional. Os autores desenvolveram um método que relaciona a parcela do PIB de determinado setor econômico ao tipo de uso e cobertura da terra predominante. Dessa forma, o montante proveniente de atividades agrícolas é associado a pixels de luzes presentes em áreas inseridas em um contexto rural, de forma proporcional aos níveis de radiância. Embora o método tenha se mostrado coerente com resultados de outros autores, trabalhos de campo ou informações censitárias detalhadas são necessárias para corroborar o método apresentado. Wu et al., (2018) utilizam da premissa de correlação entre PIB e luzes noturnas para evidenciar desigualdades socioeconômicas na China. Neste caso, os autores se limitam a estudar as

escalas onde há levantamentos de PIB que possam atestar as conclusões propostas.

Este tipo de abordagem se insere na segunda vertente supracitada, que envolve a utilização dos dados de luzes noturnas como indicadores de atividades socioeconômicas. O desafio é apresentar evidências que mostrem que as luzes são correlacionadas com atividades socioeconômicas em escalas menos generalistas. Neste sentido, Chen et al., (2017) analisaram a relação entre expansão urbana e a intensificação de luzes noturnas na cidade de Guangzhou, China. Para isso, foi calculada a variação dos números digitais dos dados do sensor DMSP/OLS ao longo do tempo e comparada à área total convertida em urbano em escalas intraurbanas. Os resultados mostram que diferentes regimes espaciais entre essas variáveis podem ser identificados e associados a eventos específicos que aconteceram durante o desenvolvimento da cidade. Os autores atestam o método a partir da análise de correlação entre as estatísticas dos números digitais e dados de acesso à rede social local, o que seria um indicativo do grau de atividade socioeconômica. Estes resultados coincidem com os apresentados por Zhao et al., (2018). Os autores também exploraram mais a fundo a relação da soma dos níveis de radiância detectados pelo sensor VIIRS/DNB e o engajamento em redes sociais nos Estados Unidos e obtiveram coeficientes de determinação (R^2) entre os dados de redes sociais e variáveis como PIB e consumo de energia elétrica ainda maiores que os usualmente encontrados em estudos envolvendo luzes noturnas.

2.2.5. Considerações

O sensoriamento remoto de luzes noturnas tem qualidades que são muito desejáveis aos estudos socioambientais, pois integram uma base de dados espaço-temporal consistente sobre a distribuição de artefatos antropogênicos na superfície terrestre. O monitoramento da intensidade de luzes noturnas possibilitou a análise quantitativa de fenômenos socioeconômicos de forma substancialmente mais simples e barata que outros métodos mais ortodoxos, tipicamente censitários. Embora estudos tenham demonstrado que há uma íntima relação entre os dados de luzes noturnas e variáveis de ordem

socioeconômicas e demográficas, a vasta maioria aponta exceções e conclusões que não devem ser generalizadas. Os trabalhos comentados ao longo deste capítulo ilustram que, independente da variável analisada, aspectos geográficos, culturais, econômicos, físicos e a escala de análise influenciam a relação que os dados de luzes noturnas mantêm com parâmetros socioeconômicos e demográficos.

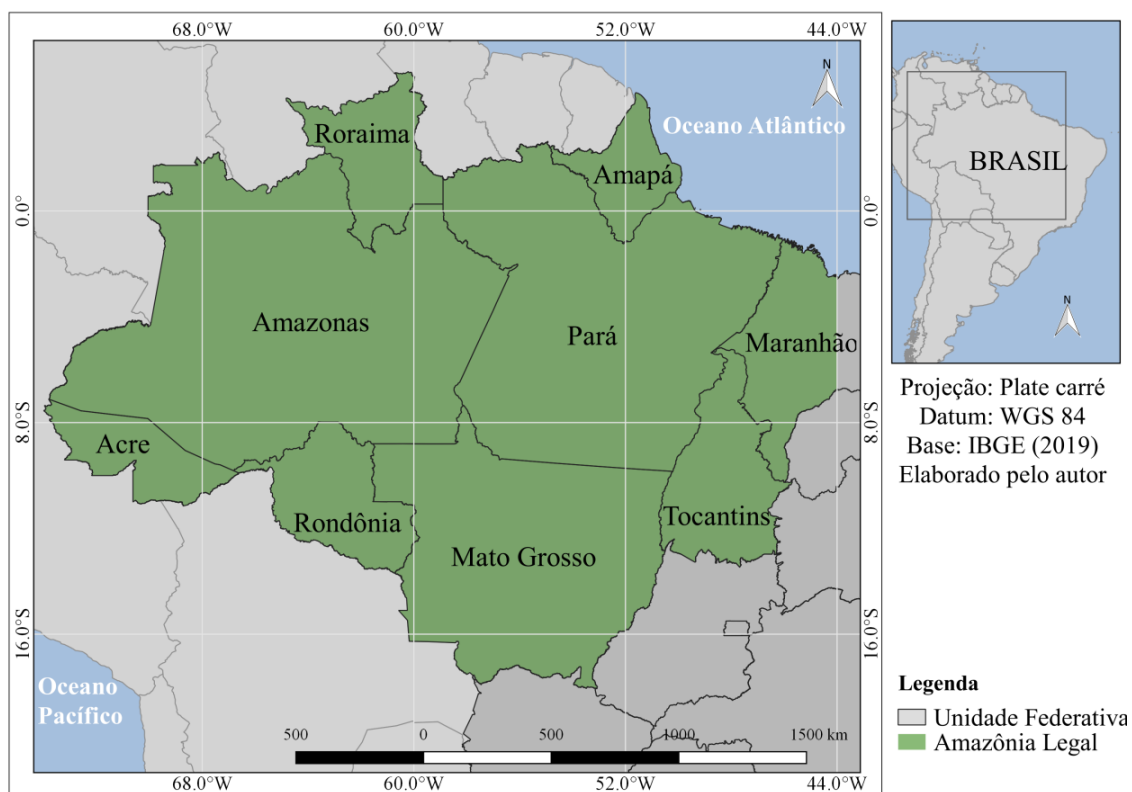
A literatura científica envolvendo o sensoriamento remoto de luzes noturnas em áreas rurais é escassa. Embora o estudo de núcleos urbanos seja de suma importância, a AML ainda tem cerca de 30% de sua população vivendo em áreas rurais, embora exista uma grande amplitude de variação dessa proporção entre suas diferentes regiões (IBGE, 2010a). Ainda que as discussões sobre o conceito urbano e rural na Amazônia não caibam no escopo deste trabalho, fato é que os processos de ocupação da região são únicos e conferem características singulares aos seus núcleos populacionais. Identificar as limitações dos dados do sensor VIIRS/DNB no contexto amazônico não é importante somente porque atinge as lacunas do conhecimento científico sobre o sensoriamento remoto de luzes noturnas, mas também porque contrapõe a noção sobre o “espaço vazio” da Amazônia, mito que serviu de combustível aos conflitos sociais da região ao longo da história (BECKER, 2009b).

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1. Área de estudo

A Amazônia Legal Brasileira (AML) é a maior unidade administrativa do Brasil. Atualmente, sua extensão abrange nove estados brasileiros: Acre, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima, Maranhão, Tocantins e Mato Grosso. No Maranhão, apenas os municípios situados em sua integridade a oeste do meridiano 44°O fazem parte da AML, totalizando cerca de 79% de seu território (BRASIL, 1966) (Figura 3.1). Embora sua extensão corresponda a aproximadamente 61% do território nacional, a população da AML representa apenas 13,74% da população brasileira (28.659.306 habitantes) (IBGE, 2017)⁴.

Figura 3.1 - Localização da Área de estudo: Amazônia Legal Brasileira, Brasil.



Fonte: Produção do autor.

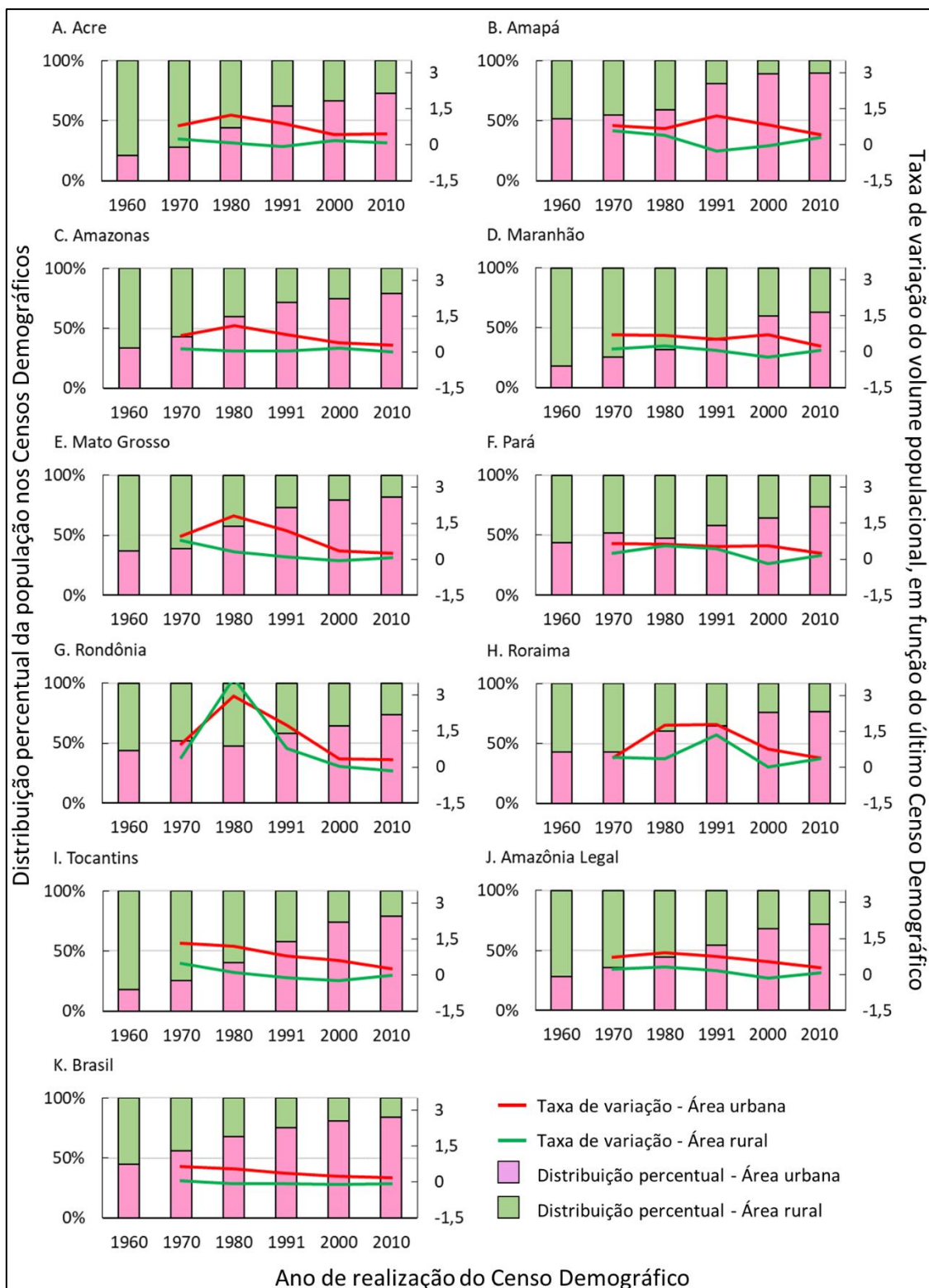
⁴Dados baseados em estimativa da projeção populacional do IBGE para o ano de 2018, incluindo toda a população do estado do Maranhão.

Em 2010, a parcela da população que vivia em áreas rurais, no Brasil, era cerca de 15,64%. Na AML, essa parcela é maior (28,18%), sendo que o estado do Maranhão tem a maior proporção rural da AML (36,92%), e o Amapá a menor (10,23%). Os estados do Pará e Maranhão são os que mais contribuem para a população rural (4.817.132 habitantes), representando, juntos, 67,09% da população rural da AML (Figura 3.2). Proporcionalmente, a população rural da maioria dos estados da AML se manteve persistentemente superior à da população brasileira, ao longo do tempo. No Brasil, a proporção da população em situação urbana passa a ser majoritária ainda na década de 1960, enquanto que na AML este fenômeno foi observado quase 30 anos depois (Figura 3.2K e J).

Embora as proporções entre a população em situação urbana e rural dos estados da AML evoluíram de forma similar à do Brasil, as taxas de variação do volume populacional dessas diferentes unidades administrativas revelam que o processo de crescimento populacional amazônico é diferente do brasileiro. Sendo os estados do Maranhão e Pará os mais volumosos, é esperado que as dinâmicas populacionais desses estados e da AML sejam similares. Estados como Acre, Amazonas, Maranhão e Tocantins detêm taxas de crescimento médio da população rural inferiores a 0,1, indicando que a cada dez anos a população rural desses estados cresceu menos de 10%, em média (Figura 3.2A, C, D e G). Os demais estados da AML obtiveram um crescimento médio de sua população rural mais significativo, sempre superiores a 0,2, sendo Rondônia o estado com a maior taxa decenal média de crescimento da população rural (0,92), com seu pico no período entre 1970 e 1980 (3,7).

Já a população urbana dos estados da AML cresceu de forma persistente, em taxas nunca inferiores a 0,5. Destaca-se o período entre 1970 e 1980, no qual essa parcela da população praticamente dobrou (0,95), quase triplicando nos estados como Mato Grosso, Rondônia e Roraima (Figura 3.2E, G e H). Em termos gerais, a população urbana brasileira experienciou um crescimento médio de 0,39% a cada década, contra 0,64% da AML.

Figura 3.2. Taxa de variação e distribuição da população nos Censos Demográficos, segundo as Unidades da Federação da AML e situação do domicílio.



Fonte: IBGE (2020).

3.2. Arcabouço conceitual

Antes de proceder aos materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho e aos processos envolvidos no seu tratamento e análise, serão apresentados os principais termos adotados e as teses que sustentam seus significados. Alguns destes conceitos tornam-se relevantes apenas após a análise dos resultados, mas faz-se a apresentação a priori, para que o fluxo de ideias seja natural.

Um dos pilares conceituais utilizados é o termo “luzes noturnas estáveis”, que se refere às luzes persistentes que ocorrem na paisagem, geralmente associadas à infraestrutura de iluminação exterior, podendo ser de natureza particular ou pública. Sua presença tem sido relacionada com a distribuição de núcleos populacionais, estabelecimentos agrícolas, indústrias e qualquer outra estrutura antrópica que disponha de iluminação noturna exterior (AMARAL et al., 2005, 2006; LU et al., 2008; LINARD et al., 2012; HUANG et al., 2014; SHI et al., 2014b; BRAGION, MONTEIRO e AMARAL, 2019). Como apresentado, alguns autores afirmam que estas estruturas diferem em função de contextos, sendo fruto de fatores como políticas públicas relacionadas ao ordenamento e estruturação do território, grau de desenvolvimento de uma unidade territorial e aspectos socioeconômicos dos indivíduos que compõem determinada área iluminada (LINARD et al., 2012; WU et al., 2018).

Estes contextos contêm características que podem ser genericamente agrupadas a partir das várias definições propostas para os termos urbano e rural. O tipo de atividade econômica predominante, os aspectos físicos do espaço e as características demográficas são os elementos mais comumente utilizados para diferenciar estes espaços (SANTOS, 1993; ENDLICH, 2006; SCHNEIDER, FRIEDL e POTERE, 2010; WANG et al., 2017). No entanto, no contexto amazônico, essas definições, quando isoladas, podem ser limitadas e pouco informativas. No escopo deste trabalho, áreas urbanizadas são aquelas mapeadas e classificadas desta forma, se valendo exclusivamente dos aspectos físicos e infraestruturais do espaço, observáveis por imagens multiespectrais orbitais, a partir do método adotado pelas bases de dados de uso e cobertura da terra (UCT) utilizadas.

Neste sentido, a definição de áreas rurais não se contrapõe à definição de áreas urbanizadas. Isso deve-se ao fato de que a base de dados utilizada para a delimitação de áreas rurais vem da classificação dos setores censitários durante o Censo de 2010 (IBGE, 2019). Embora existam críticas quanto aos critérios adotados para esta categorização, essa definição tem implicações diretas sobre o direcionamento de recursos públicos, tipos de créditos financeiros disponíveis, recolhimento de impostos, custo de serviços, entre outros (VEIGA, 2003). Isto posto, atenta-se ao fato de que áreas urbanizadas podem ocorrer dentro de áreas rurais, uma vez que a sua definição traz a ideia de que determinado espaço está em processo de urbanização, por conter características semelhantes, em diversos níveis, às áreas tipicamente consideradas como urbanas.

Como evidenciado pelos trabalhos que estudaram a relação da distribuição espacial de luzes noturnas estáveis na superfície terrestre e também estudos realizados na AML, as infraestruturas de iluminação exterior não são exclusivamente associadas aos núcleos populacionais (AMARAL et al., 2005, 2006; BENNETT e SMITH, 2017). Mais além, a base de dados utilizada não permite definir classes de UCT que estejam diretamente relacionadas com estabelecimentos rurais desconexos de núcleos populacionais, ou até mesmo aqueles que, apesar de comporem núcleos populacionais, não são classificados como urbanizados devido à ausência de infraestrutura básica tipicamente associada a áreas urbanas. As coordenadas de endereços rurais foram utilizadas para identificar a localização dos diversos tipos de edificações rurais que pudessem estar associadas à presença de infraestruturas de iluminação exterior. As especificidades destes dados e os métodos de processamento adotados estão expostos na Seção 3.6.2.

Algumas das etapas deste trabalho se valem da identificação de Áreas Estabelecidas. Para tanto, deve-se primeiro elucidar a escolha do termo “Área Estabelecida” e sua necessidade, que parte da ausência de termos que possam expressar com objetividade o conceito pretendido. O termo “Área Estabelecida” parte da junção de três conceitos chave, que estão intimamente relacionados

com as variáveis utilizadas no desenvolvimento deste trabalho, sendo os seguintes: (i) áreas iluminadas; (ii) unidade edificada; (iii) áreas ocupadas.

O primeiro conceito é fruto da associação do termo luzes noturnas estáveis ao território. Sendo assim, uma área iluminada é uma área contínua, na qual as estruturas de iluminação exterior ali presentes servem à iluminação desta área. Uma área iluminada de forma persistente indica a necessidade de iluminação, sendo que esta necessidade advém de diferentes fatores. Espaços públicos, áreas de lazer e comércios são beneficiados pela iluminação externa, permitindo a manutenção de uma vida noturna e convívio social para além do trabalho (GREEN et al., 2015). Embora exista pouca evidência de que a iluminação externa noturna tenha um papel determinístico na redução de crimes (WELSH e FARRINGTON, 2008), esta é uma noção comum e indica a presença de bens materiais, geralmente imóveis, como residências, barracões, estabelecimentos comerciais, etc. Sendo assim, áreas iluminadas são um indicativo da presença de bens, que podem ser patrimoniais, como imóveis; ou intangíveis, como a possibilidade de usufruir de espaços públicos.

Feitas estas considerações, ficam claras as relações entre áreas iluminadas e unidades edificadas - o segundo conceito utilizado como chave para a definição de Áreas Estabelecidas. Unidades edificadas são edificações contidas num imóvel com uso planejado. O uso das unidades edificadas pode ser de duas naturezas, pública ou privada, podendo também ser voltado para fins residenciais ou não residenciais (IBGE, 2019).

Por fim, área ocupada é um termo abrangente, que dá o sentido de apropriação do território, podendo ser direta ou indireta, destinado a determinado uso (BRASIL, 2018). No contexto deste trabalho, áreas ocupadas correspondem às parcelas do território destinadas a determinado uso, que têm características específicas quanto a sua cobertura. A cobertura é a característica física daquilo que ocupa a superfície, enquanto o uso é a destinação que se dá ao usufruir do território, de caráter cultural (MEYER e TURNER, 1992).

Finalmente, define-se “Área Estabelecida” qualquer localização que disponha de estabelecimentos residenciais ou comerciais, que tenham potencial de

centralização das interações diretas e cotidianas entre as pessoas que ali residem ou trabalham, e o meio circunvizinho. As Áreas Estabelecidas podem ser representadas por cidades, vilas, vilarejos, lugarejos, chácaras, sítios, fazendas ou indústrias, de qualquer natureza.

A extensão das Áreas Estabelecidas é, portanto, mutável e dependente do tipo de estabelecimento predominante e dos indivíduos que ali se encontram. Uma indústria, por exemplo, pode representar uma Área Estabelecida limitada às suas instalações, onde as pessoas exercem seus ofícios diariamente e então voltam aos seus lares. Em sítios, fazendas e chácaras, não é toda a extensão da propriedade que se configura como uma Área Estabelecida, uma vez que, embora pastagens, campos, lavouras e roçados estejam relacionados diretamente com as atividades ali exercidas, não centralizam as interações dos indivíduos. Nestes cenários, as sedes das fazendas, barracões, celeiros e residências seriam consideradas Áreas Estabelecidas.

A adoção e definição do termo Áreas Estabelecidas se mostrou necessária pois é o ponto de interseção teórico entre classes de UCT que ocorrem devido a intervenção antrópica (Áreas ocupadas), endereços rurais (Unidades edificadas) e luzes noturnas estáveis (Áreas iluminadas). Os endereços rurais representam estabelecimentos tanto residenciais quanto não residenciais, compondo então as bases físicas das interações entre as famílias e também das interações entre os indivíduos, como empregadores, fornecedores, operários, clientes e consumidores. A diferenciação entre as interações que ali se dão é expressa, teoricamente, pelo contexto de ocupação dessas áreas.

O último conceito a ser definido é o contexto de ocupação. Partiu-se do princípio de que o contexto no qual se encontra determinada Área Estabelecida tem potencial descritivo quanto à natureza desta área, influenciando as relações entre o número de endereços e a infraestrutura de iluminação. Por exemplo, Áreas Estabelecidas em um contexto agrícola, no qual há a predominância de culturas temporárias, como soja e milho, seriam áreas edificadas associadas a sedes de fazendas e chácaras, com estruturas de iluminação exterior proeminentes e um número de estabelecimentos inferior ao de núcleos

populacionais. Áreas Estabelecidas às margens de rios são potencialmente núcleos populacionais, comunidades ribeirinhas e lugarejos, dado os preceitos históricos de ocupação da AML, que dispõem de infraestrutura de iluminação equivalente ao número de endereços. Outras classes de UCT foram associadas ao contexto das Áreas Estabelecidas de acordo com a sua expressividade em áreas iluminadas, tópico descrito na Seção 3.6.3.

Neste sentido, a investigação das relações entre dados de luzes noturnas estáveis da composição VIIRS/DNB, endereços rurais e classes de UCT pode ser entendida como a análise do potencial da utilização destes dados para a identificação de áreas ocupadas, nas quais estão presentes unidades edificadas, cuja relação entre o número de endereços e métricas derivadas de luzes noturnas é expressa em função do contexto de UCT.

3.3. Composição e aquisição de dados

Esta seção apresenta os dados que integraram o desenvolvimento deste trabalho, sendo que algumas das características básicas destes dados estão sintetizadas na Tabela 3.1. Dados referentes às divisões político-administrativas brasileiras foram utilizados para o recorte da área de estudo e a produção dos diversos mapas e representações cartográficas do território da AML. Estes dados incluem limites estaduais, municipais e os limites da AML, e são disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010b, 2010a). Os endereços rurais da AML são provenientes do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE), uma base de dados de endereços urbanos e rurais do Brasil, que vem sendo construída e atualizada desde o Censo demográfico de 2000 (IBGE, 2011b). Estes dados compõem uma parte importante deste trabalho, pois representam os estabelecimentos residenciais e não residenciais associados às áreas iluminadas na AML, indicando a distribuição da população e de seus locais de residência e trabalho. Para avaliação da possibilidade de implementação destes dados nas análises e definição de critérios de amostragem, os limites dos setores censitários da AML foram obtidos e associados aos endereços rurais (Seção 3.6.2). Ambos os dados também são disponibilizados pelo IBGE.

Tabela 3.1 - Base de dados.

Dado	Tipo	Representação	Fonte
Divisões político-administrativas	Cartográfico	Vetorial	(IBGE, 2010b)
Uso e Cobertura da Terra Cerrado	Temático	Matricial	(EMBRAPA; INPE, 2013)
Uso e Cobertura da Terra Amazônia versão 1	Temático	Matricial	(EMBRAPA; INPE, 2014a)
Uso e Cobertura da Terra Amazônia versão 2	Temático	Matricial	(EMBRAPA; INPE, 2014b)
Setores censitários	Cartográfico	Vetorial	(IBGE, 2010a)
Endereços Rurais	Texto	Tabular	(IBGE, 2011a)
Imagens RapidEye	Imagem orbital representadas em valores de reflectância	Matricial	(BRASIL, 2019)
Imagens BingMaps	Imagem orbital representada em composições RGB	Matricial	(MICROSOFT, 2019)
Composições Mensais de Luzes Estáveis Noturnas do sensor VIIRS/DNB -- vcm	Composição de imagens orbitais representadas em valores de radiância	Matricial	(NOAA, 2017a)
Composições Anuais de Luzes Estáveis Noturnas do sensor VIIRS/DNB – vcm-orm-ntl	Composição de imagens orbitais representadas em valores de radiância	Matricial	(NOAA, 2017b)

Fonte: Produção do autor.

O dado de UCT foi produzido pelo projeto TerraClass Amazônia, versão 1 (http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php) e versão 2 (<https://www.terraclass.gov.br>), uma cooperação técnica entre o INPE e a EMBRAPA, que tem como objetivo mapear e disponibilizar dados vetoriais e matriciais das áreas desmatadas da AML. O mapeamento é feito através da interpretação visual associada a técnicas de sensoriamento remoto que envolvem a detecção de padrões espectrais permanentes e sazonais associados às classes de UCT (ALMEIDA et al., 2016). Também foram obtidos dados de UCT provenientes do projeto TerraClass Cerrado, um projeto com proposta similar ao TerraClass Amazônia, porém voltado ao bioma Cerrado

(<http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/dados/>). As especificações técnicas destes diferentes produtos são apresentadas na Seção 3.3.

Imagens orbitais de alta resolução do sensor RapidEye e do repositório BingMaps foram utilizadas para investigações e validações de áreas de interesse mapeadas pelo TerraClass. BingMaps é um serviço de mapeamento global que disponibiliza composições de imagens obtidas por diferentes sensores orbitais, com resoluções espaciais que variam entre 78,271 km até 30 cm (MICROSOFT, 2018). O sistema RapidEye é uma constelação de satélites equipados com sensores óticos REIS (RapidEye Earth Imaging System) que geram imagens multiespectrais de 6,5 metros, reamostradas e ortorretificadas para 5 metros (INPE, 2019b). As imagens foram disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) através da plataforma Geo-Catálogo MMA (<http://geocatalogo.mma.gov.br>). Composições de luzes noturnas estáveis anuais foram produzidas e disponibilizadas pela NOAA (ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html). As composições de luzes noturnas mensais também foram produzidas pela NOAA, mas o seu acesso e processamento se deu através da plataforma Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>). A Tabela 3.2 apresenta a distribuição cronológica da base de dados.

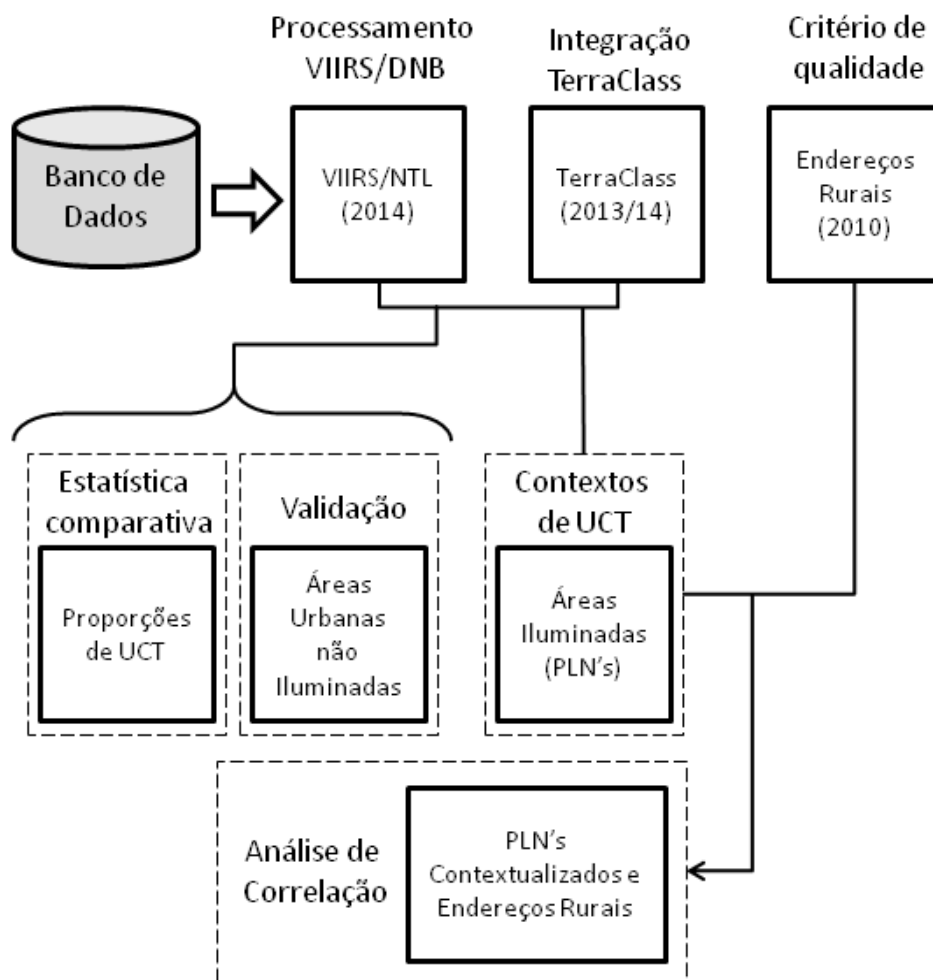
Tabela 3.2 – Distribuição Cronológica da Base de Dados

Dado	Ano									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Divisões político-administrativas	■									
UCT Cerrado				■						
UCT Amazônia versão 1					■					
UCT Amazônia versão 2					■					
Setores censitários	■									
Endereços Rurais	■									
Imagens RapidEye				■	■	■				
Imagens BingMaps	■	■	■						■	■
VIIRS/DNB mensal - vcm					■					
VIIRS/DNB Anual-vcm-orm-ntl						■				

Fonte: Produção do autor.

A estratégia geral de trabalho consiste no processamento de três base de dados principais (Figura 3.3): (i) luzes noturnas estáveis; (ii) dados de UCT TerraClass integrados e; (iii) endereços rurais. Primeiramente, as composições mensais VIIRS/DNB foram processadas para a geração de uma composição de luzes estáveis para o ano de 2014. Paralelamente, os dados das bases TerraClass versão 1, TerraClass versão 2 e TerraClass Cerrado foram integrados para a geração de um produto, TerraClass integrado, que apresente uma maior diversidade de contextos de ocupação da terra.

Figura 3.3 – Fluxograma geral de trabalho.



Fonte: Produção do autor.

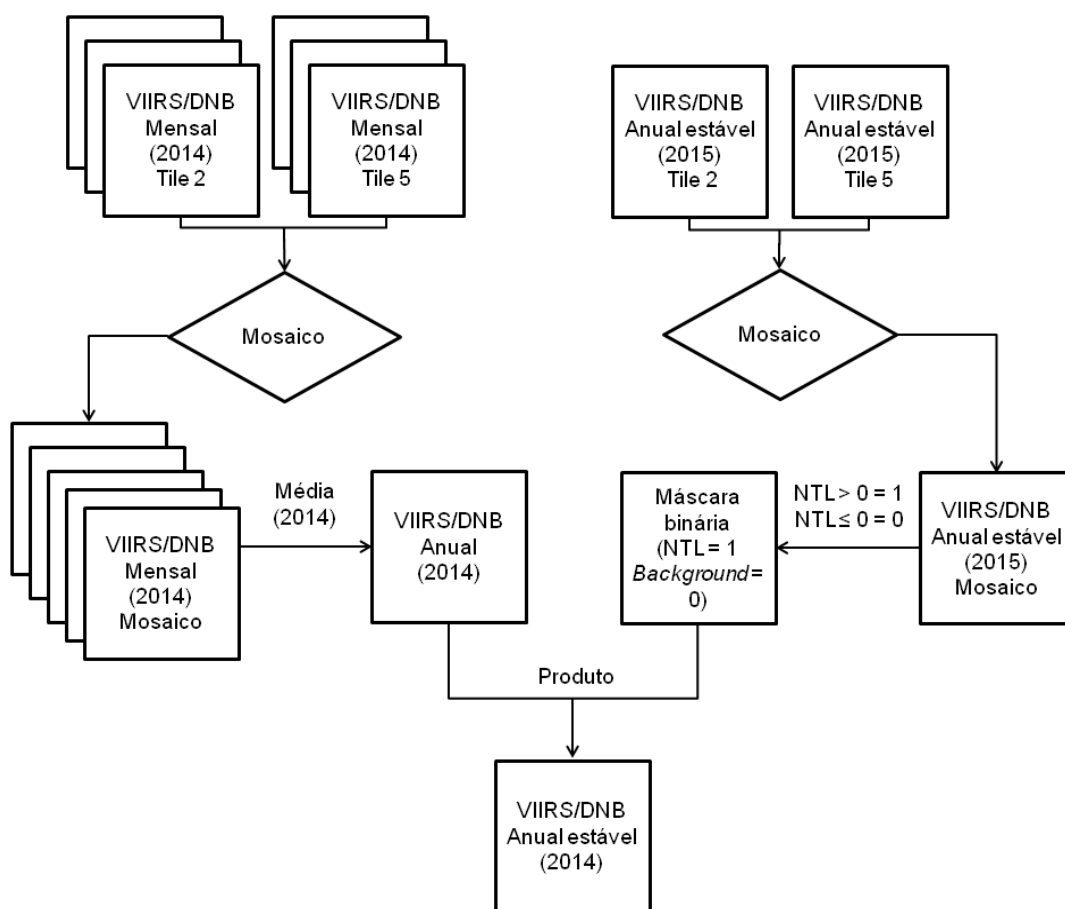
Os dados de UCT foram associados à composição de luzes estáveis do ano de 2014. As áreas urbanizadas não iluminadas foram investigadas e validadas. Também foram comparadas proporções das classes de UCT associadas às áreas iluminadas da AML, com o intuito de identificar quais classes de UCT são mais expressivas nessas áreas. A partir dessas análises, as áreas iluminadas (designadas PLN's – Polígonos de Luzes Estáveis Contíguas) foram contextualizadas de acordo com a sua matriz de UCT. Em seguida, as áreas iluminadas contextualizadas foram associadas aos seus endereços rurais. Foram analisadas as correlações entre variáveis derivadas dos dados de luzes noturnas estáveis e o número de endereços rurais das áreas iluminadas. A definição dos contextos de ocupação foi empregada para a análise da resposta dos coeficientes de determinação em função dos diferentes contextos de UCT.

3.4. Processamento dos dados de luzes noturnas do sensor Visible Infrared Imaging Radiometer Suite/Day-Night Band

As composições de luzes noturnas estáveis mensais e anuais do sensor VIIRS/DNB são disponibilizadas em seis quadrantes diferentes. Destes, dois quadrantes sobrepõem a área de estudo (*Tile 2* e *Tile 5*). Devido à indisponibilidade de composições anuais em anos compatíveis com os dados de UCT do projeto TerraClass, as composições mensais referentes ao ano de 2014 foram processadas para a geração de uma composição estável anual, segundo o método proposto por Wu et al. (2018). O método de processamento adotado consiste no cálculo da média aritmética das composições mensais, assim como em Evidge et al. (2017), mas utiliza o *background* da composição anual posterior mais próxima como máscara para a remoção do *background* da composição atual.

A composição anual de luzes estáveis do ano de 2015 foi utilizada como referência para a remoção do *background* das composições mensais relativas ao ano de 2014. Em seguida foi extraída a média aritmética das composições mensais filtradas, que resultou na composição de luzes noturnas estáveis para o ano de 2014. A Figura 3.4 ilustra os procedimentos necessários para a geração mosaico de luzes estáveis.

Figura 3.4 - Fluxograma de processamento dos dados VIIRS/DNB. Nota: NTL: Níveis de radiância da composição anual VIIRS/DNB, em 10^{-9} Watts/cm²/sr.



Fonte: Produção do autor.

3.5. Integração dos dados de uso e cobertura da terra

A integração dos dados de UCT tem o objetivo de compatibilizar as legendas das diferentes versões do projeto TerraClass e gerar um produto que abranja o máximo do território da AML, além de contar com as qualidades desejáveis particulares de cada um dos projetos. O projeto TerraClass Amazônia versão 1 realizou o mapeamento de classes de UCT referente às áreas de desmatamento florestal detectadas pelo projeto PRODES. Nesta versão, que deverá ser descontinuada, a classe Mosaico de Ocupações ainda era foco de análises, sendo constituída por uma mistura de outras classes de UCT em áreas pequenas demais para serem mapeadas individualmente. Já o projeto TerraClass

Amazônia versão 2 foi submetido a uma atualização da legenda, que excluiu a classe Mosaico de Ocupações e incluiu duas classes que especificaram os determinantes de culturas agrícolas.

A classe Mosaico de Ocupações, pertencente à versão 1 do projeto TerraClass Amazônia, serviu de parâmetro para a reclassificação dos pixels de mesma posição geográfica do dado TerraClass versão 2. Deseja-se preservar a classe Mosaico de Ocupações nas análises subsequentes pois, apesar de não estarem diretamente associadas a núcleos populacionais, edificações ou estabelecimentos, o padrão de pequenas áreas ocupadas com diferentes usos pode representar, ocasionalmente, a presença de práticas da agricultura familiar e estabelecimentos rurais residenciais que, quando associados a áreas iluminadas, podem caracterizar uma Área Estabelecida. A legenda adotada é uma adaptação das legendas do TerraClass versão 1 e TerraClass versão 2. O resultado é uma legenda que contempla todas as classes da segunda versão, além da classe Mosaico de ocupações, proveniente da primeira versão (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Classes de uso e cobertura da terra da Amazônia Legal Brasileira adotadas para a geração do produto TerraClass 2014 adaptado.

Classe	Definição
Vegetação Natural Florestal Primária	Formação vegetal natural caracterizada pelo adensamento de espécies arbóreas que não tenham sofrido supressão total da vegetação original, desde o início do monitoramento.
Vegetação Natural Florestal Secundária	Formação vegetal natural em processo de regeneração, caracterizada pelo adensamento de espécies arbóreas, que já tenham sofrido supressão total da vegetação original, desde o início do monitoramento do desflorestamento da Amazônia.
Área Urbanizada	Áreas urbanas ou de influência urbana, como lugarejos, vilas cidades ou regiões metropolitanas, apresentando arruamento e infraestruturas residencial e industrial.
Mosaico de Ocupações	Caracterizado por unidades de uso e cobertura da terra que, devido à resolução espacial das imagens de satélite, não podem ser desmembradas em componentes específicos. Por exemplo, essa classificação pode incluir agricultura familiar em conjunção com o cultivo de gado tradicional.

Continua.

Tabela 3.3 - Conclusão.

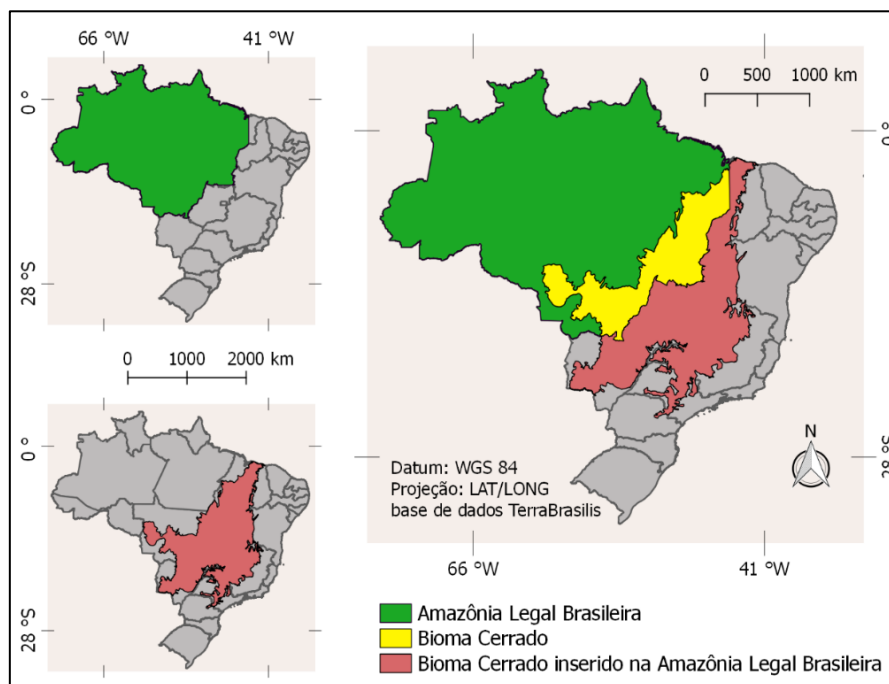
Classe	Definição
Silvicultura	Culturas de espécies florestais de interesse comercial, representadas por formações arbóreas monoespecíficas, como eucalipto e pinus.
Pastagem Cultivada Herbácea	Pastagens com predomínio de vegetação forrageira herbácea, composta por espécies cultivadas.
Pastagem Cultivada Arbustiva	Pastagens com predomínio de vegetação lenhosa, composta por espécies arbustivas/arbóreas, além das espécies herbáceas cultivadas.
Não Observado	Áreas não mapeadas em função da presença de nuvens, sombra de nuvens ou queimadas nas imagens de satélite utilizadas.
Mineração	Áreas de extração mineral caracterizadas pela presença de solo exposto e alterações da paisagem local.
Desflorestamento no Ano	Áreas cuja cobertura vegetal natural foi suprimida durante o ano de referência do mapeamento.
Corpos d'Água	Corpos d'Água naturais ou artificiais, como rios, lagos, açudes e represas.
Cultura Agrícola Temporária	Culturas agrícolas que apresentam um ou mais ciclos de produção no ano-safra de referência do mapeamento, como soja, milho, algodão, entre outras.
Cultura Agrícola Semiperene	Culturas agrícolas que apresentam ciclo de produção superior ao ano-safra de referência do mapeamento, representadas, principalmente, pela cana-de-açúcar.
Cultura Agrícola Perene	Cultura agrícola permanentes, apresentando diferentes estágios de maturidade e cobertura vegetal, como plantações de café, citros, seringueira, entre outras.
Não Floresta	Áreas contidas nos limites da Amazônia Legal Brasileira, cuja cobertura vegetal não é florestal.
Outros	Áreas que não se enquadram nas demais classes temáticas, tais como afloramentos rochosos, praias fluviais, banco de areia, entre outras.

Fonte: Adaptado de EMBRAPA e INPE, (2014a, 2014b).

As áreas classificadas como Não Floresta não são mapeadas por nenhuma das versões do projeto TerraClass Amazônia pois, embora pertençam à AML, não estão inseridas no escopo desses projetos. Para incluir uma fração dessas áreas nas análises, recorreu-se ao dado do projeto TerraClass Cerrado, cujas áreas

não florestais antropizadas e naturais foram mapeadas e estão parcialmente inseridas nos limites da AML (Figura 3.5).

Figura 3.5 – Área do bioma Cerrado inserida na Amazônia Legal Brasileira.



Fonte: Produção do autor.

O projeto TerraClass Cerrado tem como um dos objetivos o mapeamento das classes de UCT das áreas antrópicas do bioma Cerrado (BRASIL, 2015). O protocolo utilizado pelo projeto difere dos utilizados pelas versões do TerraClass Amazônia, resultando em legendas distintas. Para incluir os dados TerraClass Cerrado 2013 às áreas não florestais do TerraClass Amazônia 2014, primeiramente foram consideradas as classes compatíveis. Essas classes foram unificadas e passaram a representar uma única classe de legenda, preservando sempre a denominação descrita pelo TerraClass Amazônia adaptado. As novas classes foram atribuídas a um novo produto chamado TerraClass Integrado, que consiste no dado de UCT proveniente do projeto TerraClass Amazônia versão 2, contendo os mosaicos de ocupações do projeto TerraClass Amazônia versão 1 e tendo suas áreas não florestais associadas às classes do projeto TerraClass Cerrado (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 – Classes de uso e cobertura da terra do produto TerraClass Cerrado 2013.

Classe	Definição
Agricultura Anual	Áreas de solo exposto ou vegetadas, geralmente compostas por uma única espécie de interesse comercial com disposição regular.
Agricultura Perene	Culturas cujo ciclo vegetativo permite colheitas sucessivas, sem a necessidade de novo plantio. Inclui café, citrus, cana-de-açúcar e seringueira.
Área Urbana	Variam de grandes manchas urbanas edificadas com predominância de construções, até pequenos distritos, lugarejos, vilas com pouca estrutura urbanística, porém com a presença de uma concentração populacional diferenciada da área rural.
Mineração	Áreas de extração mineral, com a presença de afloramentos rochosos, indicados pela presença de grandes clareiras, incluindo toda a área alterada e os poços de rejeitos.
Mosaico de Ocupações	Áreas que apresentam associação de diversos tipos de uso da terra, tais como roças, pequenos remanescentes florestais, pastos, áreas de pousio, edificações, etc., encostados em regiões onde se constata a presença de assentamentos rurais e pequenas propriedades.
Pastagem Plantada	Áreas geralmente compostas por uma única espécie de gramínea (usualmente do gênero <i>Brachiaria</i>), com diferentes proporções de rebrota e/ou exposição de solo, dependendo do nível de degradação.
Silvicultura	Plantio de espécie florestais com interesse comercial, frequentemente <i>Pinus spp.</i> e <i>Eucalyptus spp.</i>
Solo exposto	Áreas sem cobertura vegetal e sem evidências de uso agrícola ou florestal.
Corpo d'água	Áreas constituídas por represas, lagos e rios.
Não Florestal*	Áreas de vegetação herbácea entremeada ou não por formações arbórea, arbustiva-herbáceas ou subarbustivas, podendo também ocorrer árvores distribuídas aleatoriamente sobre o terreno. Incluem formações savânicas e campestres.
Natural Florestal*	Áreas de vegetação arbórea com predominância de dossel contínuo. Inclui formações vegetais associadas a cursos d'água, como Mata Ciliar e Mata de Galeria. Também incluem outras formações como Mata Seca e Cerradão.
Não Vegetado	Bancos de areia ao longo de rios, dunas e afloramentos rochosos calcários.
Área Não Observada	Áreas não mapeadas em função da presença de nuvens, sombra de nuvens ou queimadas nas imagens de satélite utilizadas.
Outros	Outras categorias de uso antrópico, como aeroportos, trechos de estradas, edificações rurais entre outros.

*Os dados disponibilizados ainda não dispunham da distinção entre as classes Não Florestal e Natural Florestal, sendo que ambas as classes são unificadas em uma única classe, denominada Área Natural.

Fonte: Adaptado de Brasil (2015).

Diferentemente das classes Pastagem Cultivada Herbácea e Pastagem Cultivada Arbustiva, a classe Pastagem Plantada é uma classe mais genérica que engloba ambas as categorias. A região na qual a classe Pastagem plantada ocorre com maior frequência, dentro dos limites da AML, parte do sudoeste do Maranhão em direção à faixa Norte-Centro-Sul do Tocantins e se estende até o centro do Mato Grosso. As pastagens distribuídas nessa região do Cerrado vêm sendo pressionadas e substituídas pelo avanço do cultivo agrícola mecanizado em larga escala, avançando em direção à Amazônia (VIEIRA FILHO, 2017).

Não obstante, os estados supracitados estão entre os que apresentaram as maiores taxas de crescimento do efetivo bovino entre 1990 e 2015, mais que dobrando suas respectivas produções (IBGE, 2015). Em 2014, na AML, a classe Pastagem Cultivada Arbustiva se distribuiu em 106.127,94 km² da região, enquanto a classe Pastagem Cultivada Herbácea totalizou uma área 58,21% maior (380.164,25 km²). Juntos, estes fatores permitem observar que houve uma intensificação de pecuária na região, mesmo em detrimento do avanço das pastagens para regiões mais próximas do bioma Amazônico. Mais além, considerando que se tratam de áreas exclusivamente não florestais e que, na AML, há uma maior probabilidade ocorrência de Pastagens Cultivadas Herbáceas, optou-se pela junção da classe Pastagem Plantada à classe Pastagem Cultivada Herbácea.

A classe Outros, embora detenha semânticas idênticas em ambos os dados a serem integrados, seus significados são distintos e não apresentam características comuns que levariam à sua junção. No entanto, uma inspeção nas áreas mapeadas como Outros pelo TerraClass Cerrado permitiu identificar que, nas áreas não florestais localizadas no interseco entre a AML e o Cerrado, essas áreas somam menos que menos que 30 polígonos isolados associados a estradas rurais desconexas de núcleos populacionais ou quaisquer estabelecimentos. Optou-se então pela junção das duas classes Outros, não por conta de suas características similares, mas devido sua inutilidade no que tange as análises objetivadas.

As áreas mapeadas como Área Natural pelo TerraClass Cerrado, constituída pela junção das classes Não Florestal e Natural Florestal, não condizem com nenhuma das classes propostas pelo TerraClass Amazônia adaptado. No entanto, deve-se atentar ao fato de que as áreas florestais inseridas na AML foram mapeadas, e que apenas as áreas Não Florestais do TerraClass Amazônia serão reclassificadas. Portanto, conclui-se que a classe Área Natural inserida a ser reclassificada refere-se exclusivamente a formações campestres e savânicas, sendo então reclassificada como Não Floresta.

Por fim, as classes Não Vegetado e Solo Exposto foram consideradas exclusivas do bioma Cerrado, sendo então incluídas na legenda sem a necessidade de compatibilização. Áreas não florestais fora do bioma Cerrado foram consideradas como Áreas Não Mapeadas. A compatibilização das classes de UCT resultou em uma legenda similar à do TerraClass adaptado, porém com a inclusão ou adaptação de algumas classes (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 - Classes de uso e cobertura da terra da Amazônia Legal Brasileira adotadas para a geração do produto TerraClass integrado.

Classe	Definição
Vegetação Natural Florestal Primária	Formação vegetal natural caracterizada pelo adensamento de espécies arbóreas que não tenham sofrido supressão total da vegetação original, desde o início do monitoramento da Amazônia
Vegetação Natural Florestal Secundária	Formação vegetal natural em processo de regeneração, caracterizada pelo adensamento de espécies arbóreas, que já tenham sofrido supressão total da vegetação original, desde o início do monitoramento do desflorestamento da Amazônia.
Área Urbanizada	Áreas urbanas ou de influência urbana, como lugarejos, vilas, cidades ou regiões metropolitanas, apresentando arruamento e infraestruturas residencial e industrial.
Mosaico de Ocupações	Caracterizado por unidades de uso e cobertura da terra que, devido à resolução espacial das imagens de satélite, não podem ser desmembradas em componentes específicos. Por exemplo, essa classificação pode incluir agricultura familiar em conjunção com o cultivo de gado tradicional.
Silvicultura	Culturas de espécies florestais de interesse comercial, representadas por formações arbóreas monoespecíficas, como eucalipto e pinus.

Contínua.

Tabela 3.5 Conclusão.

Classe	Definição
Pastagem Cultivada Herbácea	Pastagens com predomínio de vegetação forrageira herbácea, composta por espécies cultivadas. Nas áreas de Cerrado, pode haver diferentes proporções de rebrota e/ou exposição de solo, dependendo do nível de degradação.
Pastagem Cultivada Arbustiva	Pastagens com predomínio de vegetação lenhosa, composta por espécies arbustivas/arbóreas, além das espécies herbáceas cultivadas.
Não Observado	Áreas não mapeadas em função da presença de nuvens, sombra de nuvens ou queimadas nas imagens de satélite utilizadas.
Mineração	Áreas de extração mineral caracterizadas pela presença de solo exposto e alterações da paisagem local.
Desflorestamento no Ano	Áreas cuja cobertura vegetação natural florestal foi suprimida durante o ano de referência do mapeamento.
Corpos d'Água	Corpos d'Água naturais ou artificiais, como rios, lagos, açudes e represas.
Cultura Agrícola Temporária	Culturas agrícolas que apresentam um ou mais ciclos de produção no ano-safra de referência do mapeamento, como soja, milho, algodão, entre outras.
Cultura Agrícola Semiperene	Culturas agrícolas que apresentam ciclo de produção superior ao ano-safra de referência do mapeamento, representadas, principalmente, pela cana-de-açúcar.
Cultura Agrícola Perene	Cultura agrícola permanentes, apresentando diferentes estágios de maturidade e cobertura vegetal, como plantações de café, citros, seringueira, entre outras.
Não Floresta	Áreas de vegetação herbácea entremeada ou não por formações arbórea, arbustiva-herbáceas ou subarbustivas, podendo também ocorrer árvores distribuídas aleatoriamente sobre o terreno. Incluem formações savânicas e campestres.
Não Vegetado	Bancos de areia ao longo de rios, dunas e afloramentos rochosos calcários.
Solo Exposto	Áreas sem cobertura vegetal e sem evidências de uso agrícola ou florestal.
Outros	Áreas que não se enquadram nas demais classes temáticas, tais como afloramentos rochosos, praias fluviais, banco de areia, entre outras.

As classes sombreadas são classes que sofreram alterações ou foram incluídas no dado de uso e cobertura da terra.

Fonte: Adaptado de EMBRAPA e INPE (2013, 2014a, 2014b).

3.6. Verificação das áreas urbanizadas não detectadas pelos dados de luzes noturnas estáveis do sensor VIIRS/DNB

Nas seções subsequentes, todos os métodos estatísticos foram empregados utilizando o programa computacional R 3.4.1 (r-project.org). Os métodos de geoprocessamento e processamento de imagens foram empregados na plataforma Google Earth Engine (earthengine.google.com).

O procedimento adotado para a verificação das áreas urbanizadas não detectadas pelos dados de luzes noturnas consiste na identificação de áreas mapeadas como urbanas pelo produto TerraClass integrado e não detectadas pela composição de luzes noturnas estáveis do sensor VIIRS/DNB. O dado de UCT, representado por uma matriz temática, tem cada um dos seus pixels associados a um valor numérico associado à determinada classe de UCT. A composição anual de luzes noturnas estáveis referente ao ano de 2014 foi transformada em uma matriz binária, cujos valores são zero, para pixels com nível médio de radiância positivos, e um, para pixels com nível médio de radiância negativos ou nulos. O produto entre a matriz⁶ binária de luzes estáveis e da matriz temática de UCT é uma terceira matriz contendo apenas os pixels de UCT que são sobrepostos por pixels de luzes noturnas estáveis maiores que zero, denominada dados de UCT filtrados.

Os dados de UCT filtrados foram vetorizados, de modo que quaisquer pixels com valor igual a outro pixel contíguo foram agrupados em um único polígono. Neste procedimento, a contiguidade é definida a partir dos oito vizinhos imediatos ao pixel, incluindo pixels que compartilhem apenas os seus vértices, que é o caso das diagonais. Em termos topológicos, cada pixel é representado por um polígono individual e mesclado a outros polígonos tocantes e de mesmo valor de

⁶ Neste contexto, matriz é um termo genérico para um arranjo retangular de pixels, podendo se referir a uma imagem gerada por um sensor orbital, a composições resultantes de operações entre imagens, a imagens temáticas provenientes dos mapeamentos, entre outros. O produto entre duas matrizes desta natureza refere-se ao produto entre cada um dos pixels que sobrepõem a mesma área; não devendo ser confundido com a multiplicação entre matrizes no contexto da álgebra matricial.

atributo. Os polígonos referentes à classe Área Urbanizada foram selecionados e extraídos, resultando em um dado vetorial exclusivo de polígonos contíguos classificados como Área Urbanizada não detectados pela composição de luzes noturnas estáveis.

Estes polígonos foram utilizados como referência para a verificação das áreas urbanas através das imagens multiespectrais do sensor RapidEye/REIS e as composições do repositório BingMaps. As imagens RapidEye/REIS podem ser referenciadas de acordo com a sua data, ponto e órbita. Embora seja possível acessar a data das imagens BingMaps (usualmente obtidas entre 2010 e 2011 nas composições de máximo *zoom*), elas não podem ser endereçadas quanto ao seu ponto e órbita, além de poderem ser substituídas mediante atualizações da plataforma. Portanto, foi adotado um procedimento que prioriza a verificação das áreas urbanas não detectados pelo sensor VIIRS/DNB, a partir das imagens RapidEye livres de nuvens, obtidas entre os anos de 2013 e 2015, dando prioridade as imagens do ano de 2014 e 2013 (ANEXO A).

As observações feitas através das imagens RapidEye/REIS foram então confrontadas com as imagens BingMaps. Nos casos em que as imagens BingMaps confirmaram as observações, estas foram consideradas como assertivas e julgou-se o dado TerraClass integrado como correto ou incorreto. Nos casos onde as observações foram distintas, considerou-se a natureza da observação, sendo o TerraClass integrado julgado como correto, incorreto ou inconclusivo.

Por exemplo, se a partir da observação da imagem RapidEye/REIS chegou-se à conclusão de que determinada área observada não é urbana, como uma clareira, afloramento rochoso ou residência rural isolada, confirmava-se a observação através das imagens do repositório BingMaps. Se a área fosse julgada como urbana através da observação da imagem BingMaps, considerava-se a análise da imagem RapidEye/REIS incorreta e o mapeamento TerraClass integrado como correto. No entanto, se uma área é considerada como urbana através da observação da imagem RapidEye/REIS e a mesma conclusão não pode ser feita através da imagem BingMaps, considerou-se o dado TerraClass integrado como

incorreto. Essa última consideração parte da hipótese de que as características físicas que atribuem o caráter de urbano a uma área, segundo o método empregado pelo TerraClass, não desapareciam da paisagem em um período de seis anos, defasagem temporal máxima entre as imagens BingMaps e a data de mapeamento. Casos omissos foram tratados individualmente, geralmente resultando na não identificação da área, considerando a análise inconclusiva.

Deve-se reforçar que o procedimento descrito não teve por objetivo determinar quão assertivo é o mapeamento proposto pelo TerraClass versão 1 ou versão 2, mas apenas verificar se a omissão da identificação de áreas mapeadas como urbanas pela composição de luzes noturnas estáveis ocorre de forma sistemática, i. e., se existem características geográficas observáveis por imagens de satélite comuns às áreas não detectadas pelo sensor VIIRS/DNB.

3.7. Comparação estatística das proporções de uso e cobertura da terra em áreas iluminadas

O objetivo desta etapa foi compor uma amostra de áreas iluminadas e compará-la a outras áreas aleatórias da AML quanto à proporção das classes entre essas duas amostras. O método adotado comparou a proporção média de determinada classe de UCT das áreas iluminadas com outras áreas da AML, com o intuito de apresentar evidências de que determinadas classes de UCT têm proporções médias distintas em áreas iluminadas do que esperado por acaso. A partir desses dados, foram consideradas quais classes viriam a compor os contextos de UCT das Áreas Estabelecidas.

Primeiramente, as áreas iluminadas contíguas foram identificadas e agrupadas. O critério de contiguidade é idêntico ao descrito Seção 3.4, porém aplicado à composição de luzes noturnas estáveis do ano de 2014. Os pixels contíguos foram agrupados em função dos seus valores de radiância, sendo que todo pixel com valor positivo foi vetorizado e mesclado ao próximo pixel contíguo e de valor também positivo. Os pixels com valores não positivos foram excluídos da análise. Assim, diferentemente do método de vetorização das classes de UCT, a vetorização dos dados de luzes noturnas estáveis mescla pixels contíguos cujos valores de radiância estejam contidos em um intervalo, não necessariamente

idênticos. Cada geometria gerada por este processo foi denominada Polígono de Luzes Noturnas Estáveis Contíguas (PLN), sendo que também foi adotada a sua forma plural, referindo-se a toda ou parte do produto vetorial que contém esses PLN's. Ao todo, foram gerados 14.926 PLN's.

A associação das proporções de classe de UCT aos PLN's foi feita através da redução de regiões, um método computacional disponível na plataforma Google Earth Engine (developers.google.com/earth-engine/reducers_reduce_region), utilizando os dados da matriz de UCT como dado de entrada. O método permite a associação de atributos a qualquer tipo de vetor a partir dos números digitais de matrizes. O redutor utilizado depende do objetivo da análise. Por exemplo, a aplicação de um redutor do tipo "média" a um vetor, tendo uma imagem como entrada, retornará a média dos números digitais dos pixels da imagem contidos no vetor. Para o cálculo das proporções, foi aplicado um redutor de contagem, que contabiliza o número de pixels inseridos em cada PLN. O critério utilizado foi, primeiramente, a contagem do número de pixels referentes a cada classe, gerando um atributo para cada classe de UCT. A proporção de classe de UCT é dada pela razão entre a contagem de pixels de determinada classe pela somatória da contagem de pixels de todas as classes. Nesta etapa, além das proporções de classes, métricas derivadas dos próprios dados de luzes noturnas estáveis também foram calculadas (ELVIDGE et al., 1997, 1999). Para cada PLN, o procedimento calcula um novo atributo baseado nos valores dos pixels que são sobrepostos por esse PLN (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 – Métricas associadas aos polígonos contíguos de luzes noturnas estáveis a partir do preenchimento de atributos.

Atributo	Matriz de referência	Descrição
Proporção de classe	TerraClass integrado 2014	Razão entre o número de pixels de determinada classe de UCT contidos em uma feição e a somatória do número de pixels de todas as classes contidos na mesma feição.
Radiância total	Composição de luzes noturnas estáveis do sensor VIIRS/DNB	Soma dos valores de radiância dos pixels sobrepostos aos PLN's
Número de pixels	Composição de luzes noturnas estáveis do sensor VIIRS/DNB	Número de pixels sobrepostos aos PLN's
Radiância média	Composição de luzes noturnas estáveis do sensor VIIRS/DNB	Média dos valores de radiância dos pixels sobrepostos aos PLN's

Todas as métricas foram calculadas em função da proporção de cada pixel contida em dado PLN.

Fonte: Produção do autor.

3.7.1. Amostragem dos polígonos de luzes estáveis contíguas para a comparação entre proporções de classe e teste de hipótese

O objetivo desta etapa foi criar uma amostra de PLN's cujas proporções de classes de UCT pudessem ser comparadas a uma amostra aleatória de igual tamanho. Para isso, a área de cada um dos PLN's foi calculada e exportada em formato tabular, dissociada dos dados geométricos. Criou-se um vetor de pontos aleatórios contendo o mesmo número de pontos quanto o número de PLN's. As áreas dos PLN's foram então associadas aos pontos aleatórios e utilizadas como parâmetro para a criação de uma borda para cada ponto. O raio adotado para a geração da borda é variável e está relacionado com a área dos PLN's da seguinte forma (Equação 3.1):

$$B_p = \sqrt{\frac{A_p}{\pi}} \quad (3.1)$$

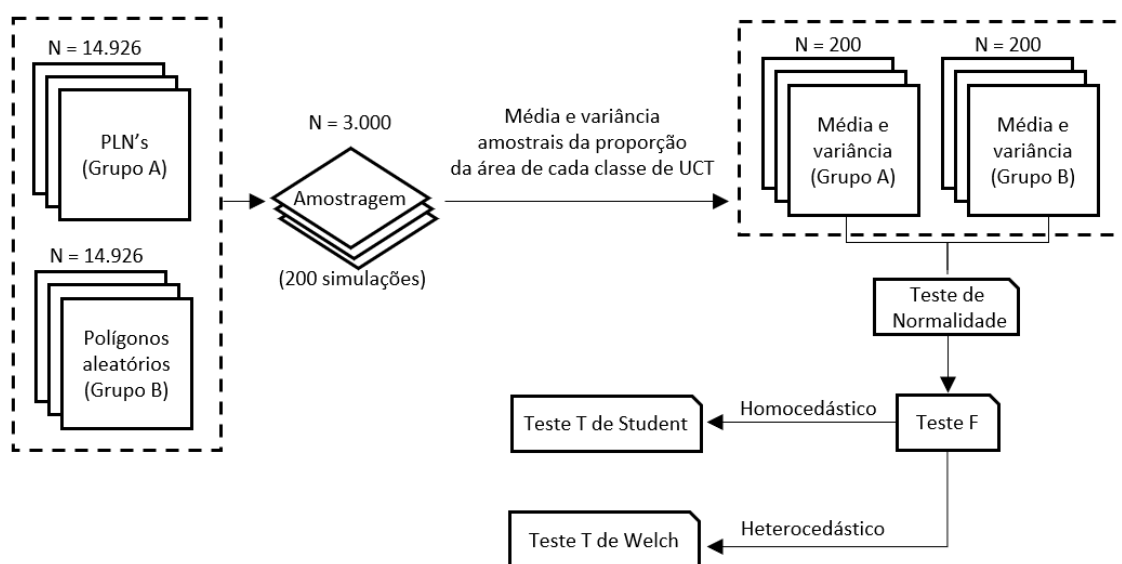
em que B_p é o raio da circunferência a ser gerada a partir do ponto; A_p é a área de determinado PLN, aleatoriamente associada ao ponto; e π é a constante que representa a razão entre a perímetro e o diâmetro de uma circunferência.

Ao serem submetidos ao processo de geração de bordas, os pontos aleatórios foram transformados em polígonos aleatórios. Para que os polígonos aleatórios não tivessem parte de sua extensão fora dos limites da AML, foi estabelecida uma distância mínima entre o ponto aleatório e os limites da AML, igual à maior distância de borda calculada através da Equação 3.1. Os polígonos aleatórios foram submetidos ao mesmo processo de redução de regiões descrito na seção 3.5, resultando em um conjunto de polígonos aleatórios de mesma distribuição de áreas descrita pelos PLN's. A amostragem dos polígonos aleatoriamente distribuídos e dos PLN's se deu de forma aleatória, sem reposições.

Com o intuito de atestar as diferenças entre as médias das proporções de classes de UCT dos grupos, ponderando a possibilidade de ocorrência de erros observacionais aleatórios e desvios naturais da variável a uma tendência central, optou-se pela condução de uma simulação estocástica. Foi determinado, empiricamente, um tamanho amostral de 3.000 (aproximadamente 20% da população) simulado por 200 vezes. A cada simulação, calculou-se a média e variância da amostra, compondo um conjunto de 200 médias e 200 variâncias amostrais de cada classe de UCT por grupo, agrupadas da seguinte forma: grupo A, representando o conjunto das médias e variância amostrais das proporções de cada classe de UCT dos PLN's; e grupo B, representando o conjunto das médias e variâncias amostrais das proporções de cada classe de UCT dos polígonos aleatórios. O teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO e WILK, 1965) foi realizado em ambas as amostras para evidenciar a normalidade de suas distribuições. As amostras foram então submetidas ao teste F para variâncias

iguais (SNEDECO e COCHRAN, 1989). Nos casos onde não houve evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula, o teste de T de Student (STUDENT, 1908) foi empregado na comparação das médias amostrais. Do contrário, foi utilizado o teste T de Welch (WELCH, 1947) que é apropriado para a comparação de amostras heterocedásticas. Todos os testes foram conduzidos considerando um nível de significância de 1% (Figura 3.6).

Figura 3.6 – Operações adotadas para a estatística comparativa das proporções de área médias dos polígonos aleatórios e de luzes noturnas (PLN).



Fonte: Produção do autor.

3.8. Análise de correlação entre o número de endereços e dados de luzes noturnas estáveis

Para a análise de correlação entre variáveis derivadas de dados de luzes noturnas e o número de endereços foram propostas duas abordagens: (i) a análise de correlação entre variáveis derivadas de dados de luzes noturnas e o número de estabelecimentos rurais inseridos nos PLN's, como forma de investigar como as diferentes variáveis derivadas de dados de luzes se correlacionam com a ocupação da AML, não se restringindo, portanto, a estabelecimentos voltados à habitação; (ii) contextualização dos PLN's de

acordo com a matriz de UCT associada às Áreas Estabelecidas, como forma de diferenciar os padrões de UCT dessas áreas, que podem estar relacionados às práticas econômicas e modelos de ocupação do território.

3.8.1. Processamento dos dados de endereços rurais e critérios de amostragem

Os estabelecimentos rurais da AML foram localizados através de suas coordenadas, disponibilizadas pelo CNEFE (IBGE, 2011a). Em áreas rurais, nem sempre é possível a geocodificação dos estabelecimentos através de seu endereço, devido à falta de referências que possibilitem seu endereçamento, como bairro, logradouro ou número. Embora haja a orientação para coleta das coordenadas de qualquer estabelecimento rural, é critério do agente censitário o registro dessa informação (IBGE, 2019). Por este motivo, foi adotado um procedimento para a criação de um critério de qualidade do número de coordenadas registradas por setor censitário. Embora nem todo estabelecimento rural esteja associado às suas coordenadas, todos eles detêm a informação sobre a qual setor censitário pertencem. Dessa forma, foi possível comparar o número de endereços de determinado setor censitário com o número de endereços com coordenadas registradas deste mesmo setor. Para cada setor censitário, foi gerada uma métrica denominada Proporção de Subestimativa de Endereços (Equação 3.2).

$$\text{Sub} = 1 - \left(\frac{EC}{ET} \right) \quad (3.2)$$

em que Sub é a proporção de subestimativa de endereços, EC é o número de endereços com coordenadas registradas de determinado setor e ET é o número total de endereços do setor censitário. Sub é igual 0 quando nenhum dos endereços do setor censitário tem a sua coordenada registrada e 1 quando todos os endereços do setor censitário têm sua coordenada registrada.

Foram selecionados apenas os setores censitários com Proporção de Subestimativa igual ou inferior a 0,15, ou seja, apenas setores censitários com mais de 85% dos seus estabelecimentos associados às suas respectivas coordenadas. Este critério foi definido empiricamente com base no número de amostras disponíveis. Um critério mais restritivo resultaria em um número pequeno de amostras, enquanto um critério menos restritivo resultaria na Proporção de Subestimativa elevada, aumentando a chance de amostragem de PLN's com o seu número de estabelecimentos subestimado.

3.8.2. Composição das amostras de endereços rurais, dados de luzes noturnas estáveis e uso e cobertura da terra

A distribuição da proporção de subestimativa se difere em função dos estados brasileiros nunca inferior a 60%, sendo que a menor proporção é atribuída ao estado de Roraima (61,90%) e a maior ao estado o Acre (89,66%) (Tabela 3.7).

Tabela 3.7 – Distribuição dos endereços rurais da Amazônia Legal Brasileira com base dos dados do CNEFE (2010) e IBGE (2010).

UF	Endereços com coordenadas	Endereços sem coordenadas	Total de endereços	Proporção de endereços com coordenadas
Rondônia	183.800	52.297	236.097	77,85%
Acre	78.222	9.020	87.242	89,66%
Amazonas	160.714	56.611	217.325	73,95%
Roraima	25.418	15.643	41.061	61,90%
Pará	264.354	81.274	345.628	76,49%
Amapá	17.624	7.997	25.621	68,79%
Tocantins	128.414	29.009	157.423	81,57%
Maranhão	410.392	118.280	528.672	77,63%
Mato Grosso	538.806	147.289	686.095	78,53%
Total	1.807.744	517.420	2.325.164	77,75%

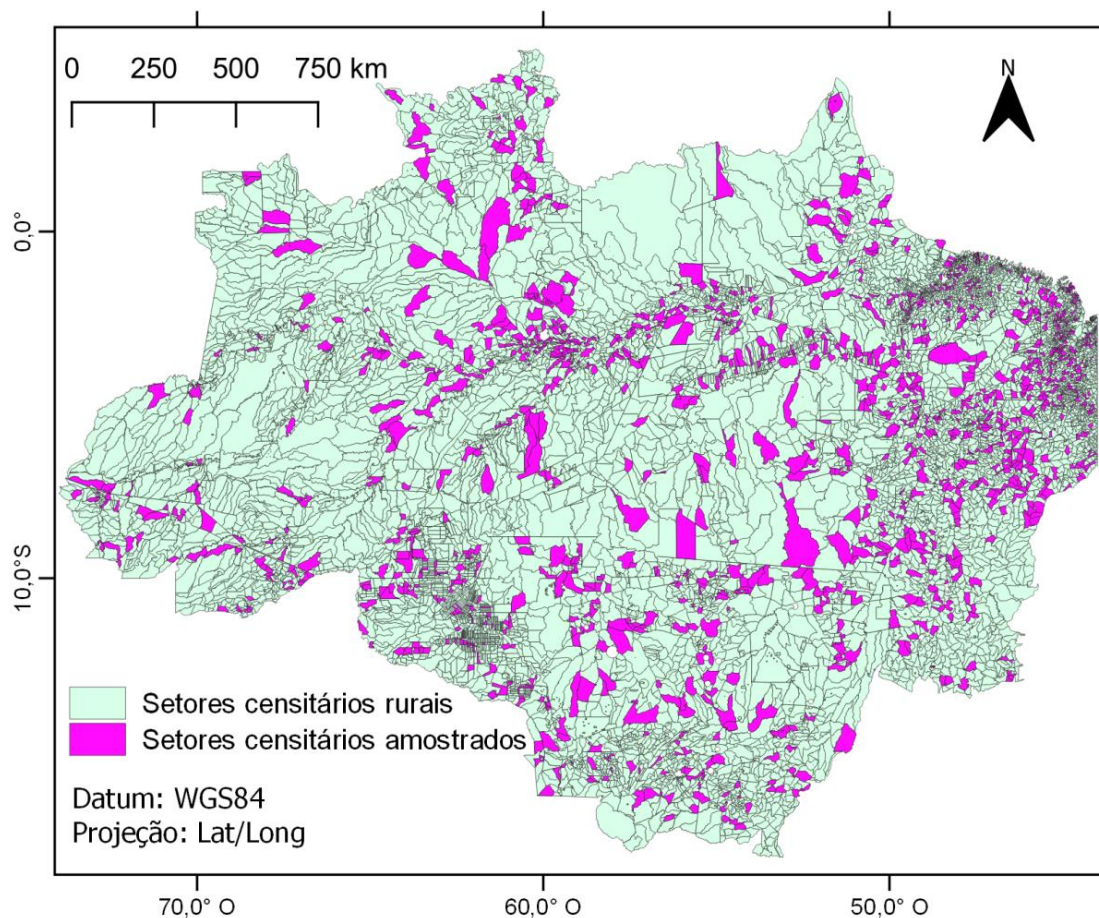
Fonte: Produção do autor.

Ao todo, 77,75% dos estabelecimentos da AML, representados por seus endereços, puderam ser associados às suas coordenadas e foram incluídos na análise. No entanto, apenas 28,76% dos setores rurais da AML satisfizeram o critério de Subestimava de Endereços adotado (4.236 de 14.630). A distribuição do número de endereços destes setores não é igual a distribuição dos dados originais. Para que as amostras não apresentassem um viés quanto ao número de endereços, foi adotado um método de reamostragem baseado na distribuição dos dados originais.

Para isso, foram identificados os três quartis da distribuição original de número de endereços. Estes quartis foram utilizados como estratos para a reamostragem dos setores censitários que satisfizeram o critério de subestimativa. Foram coletadas 355 amostras de cada um dos quatro estratos definidos a partir dos quartis da população original, totalizando 1.420 setores reamostrados. O número de endereços rurais destes setores reamostrados corresponde a 17,78% do número de endereços dos setores rurais da AML (413.328 de 2.325.164 endereços). Embora tenha sido adotada uma tolerância de 15% de endereços não georreferenciados, a proporção média de subestimativa observada foi de 2,43%, i. e., em média, os setores rurais amostrados têm apenas 2,43% de endereços não georreferenciados.

A Figura 3.7 destaca a distribuição espacial dos setores censitários rurais da AML e dos setores rurais amostrados. Além das métricas já associadas aos PLN's (radiância média, radiância total, número de pixels e proporções das classes de UCT), foi contabilizado o número total de endereços rurais em cada um dos PLN's. Para identificar quais PLN's estavam associados a qual setor censitário, primeiramente, a extensão de cada PLN foi submetida a um processo de redução de bordas. Este procedimento foi necessário pois o efeito *overflow* poderia fazer com que a extensão de um PLN excedesse a extensão do setor censitário no qual ele está inserido. Deste modo, foram selecionados todos os PLN's que tiveram sua extensão reduzida em 1.000 metros a partir da borda e intersectavam os setores censitários reamostrados.

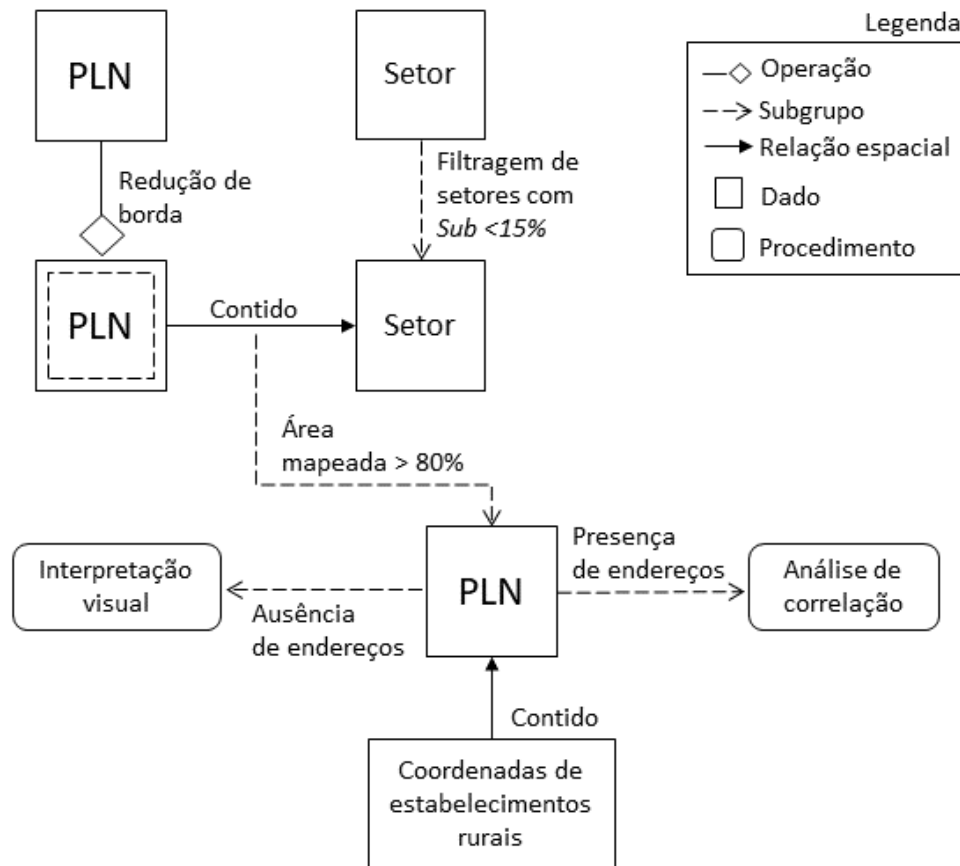
Figura 3.7 – Localização dos setores censitários rurais referentes ao Censo 2010 inseridos na Amazônia Legal Brasileira.



Fonte: Adaptado de IBGE (2010).

Ao todo, 2.111 PLN's foram identificados como inseridos nos setores censitários reamostrados. Para as análises que envolvem as das classes de UCT, deve-se considerar que alguns PLN's podem não ter toda sua extensão mapeada pelo projeto TerraClass, seja por conta da indisponibilidade de imagens livres de nuvens ou por se tratar de áreas não florestais fora dos limites do Cerrado. Por isso, foram removidos os PLN's com menos de 80% de sua área mapeada pelo TerraClass Cerrado. Dos 2.111 PLN's amostrados, 1.848 satisfizeram este critério. Destes, 1.320 obtiveram algum registro de endereço associado. A Figura 3.8 ilustra o fluxograma de seleção das amostras de PLN.

Figura 3.8 – Fluxograma de critérios e operações adotados para a seleção de Polígonos de Luzes Noturnas Estáveis Contíguas.



Fonte: Produção do autor.

Com o intuito de melhor representar os possíveis valores das variáveis amostradas, os polígonos contíguos de luzes noturnas foram reamostrados aleatoriamente a partir de estratos definidos pelo método de Fisher-Jenks. O método tem o objetivo de identificar quebras, ou intervalos de valores, que permitam agrupar determinada variável de modo a maximizar a variância entre os diferentes grupos gerados, minimizando, simultaneamente, a variância entre as amostras de cada grupo (JENKS, 1967). A qualidade do ajuste da variância (QAV) dos grupos formados foi avaliada de forma iterativa a partir da proporção entre a diferença do desvio quadrático total (DQT) do número de endereços dos PLN's e a soma dos DQT's dos dados inseridos nos grupos formados e é dada por:

$$DQT = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_1)^2 \quad (3.3)$$

onde DQT é o desvio quadrado total de determinada variável; X_i é um elemento de determinada variável; \bar{X}_1 é a média de determinada variável; e n é o número de amostras de determinado grupo. Sendo que a diferença do desvio quadrático total (DQT) é dado por:

$$QAV = \frac{DQT_x - \sum_{i=1}^n (DQT_i)}{DQT_x} \quad (3.4)$$

onde QAV é a qualidade do ajuste da variância, DQT_x é o desvio quadrado total de uma variável x e DQT_i é o desvio quadrado total de determinado grupo proveniente da variável x; e n é o número de grupos formados.

Ou seja, quanto menor a diferença entre os valores das amostras de determinado grupo, menor a soma das variâncias desses grupos; maior a diferença entre a soma das variâncias e a variância original. O número de grupos foi incrementado até que fosse alcançado um valor de QAV superior a 0,9, resultando em quatro grupos. Foram coletadas 60 amostras aleatórias de cada grupo, totalizando 240 amostras.

3.8.3. Contextualização dos Polígonos Contíguos de Luzes Noturnas Estáveis em função de dados de uso e cobertura da terra

A contextualização dos PLN's parte da análise das proporções das classes de UCT presentes nestes PLN's. A partir da análise das médias das proporções das classes de UCT, descrita na Seção 3.5, observou-se que algumas destas classes detêm proporções médias maiores do que o esperado ao acaso, indicando que a sua ocorrência está associada à distribuição das áreas iluminadas. Os resultados e discussão envolvendo este experimento são apresentados na Seção 4.3. Baseado nestes resultados e nas características físicas das classes de UCT, foi proposto o agrupamento de determinadas classes de UCT. Outras classes de UCT não têm proporções médias significativamente distintas em

áreas iluminadas do que o esperado ao acaso ou representam menos que 5% da área mapeada da AML. Excetuam-se as classes Mosaico de Ocupações e Área Urbanizada, pois representam classes teoricamente associadas às Áreas Estabelecidas, quando iluminadas. (Tabela 3.8).

Tabela 3.8 – Classes de uso e cobertura da terra agrupadas para a definição das métricas de contextualização.

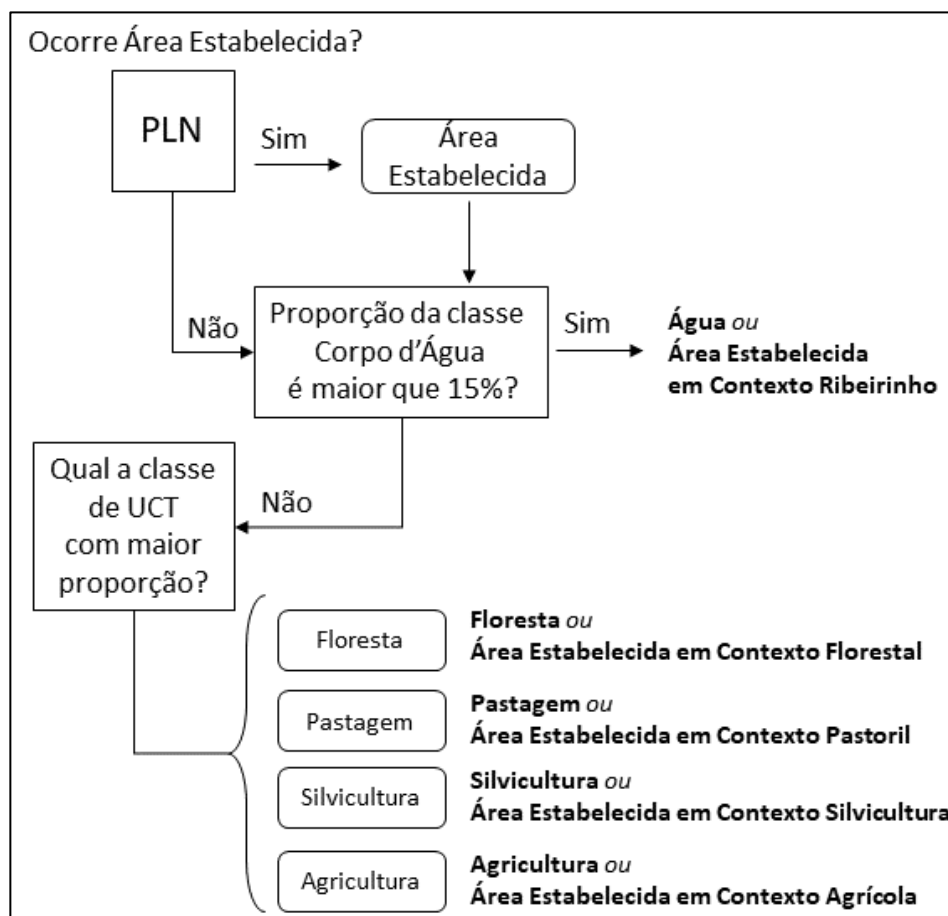
Classes de UCT (TerraClass)	Classe de UCT agrupada
Vegetação Natural Florestal Primária	Floresta
Vegetação Natural Florestal Secundária	
Pastagem Cultivada Herbácea	Pastagem
Pastagem Cultivada Arbustiva	
Mosaico de Ocupações	Área Estabelecida
Área Urbanizada	
Corpo d'Água	Água
Silvicultura	Silvicultura
Cultura Agrícola Temporária	Agricultura
Não floresta	Não Floresta

Fonte: Produção do autor.

Os contextos de ocupação foram definidos de acordo com a predominância das classes de UCT agrupadas, exceto a classe Área Estabelecida. Esta classe foi definida como determinante na contextualização, sendo que a sua ocorrência é suficiente para definir o primeiro critério de contextualização. As proporções das outras classes foram comparadas. Foi estabelecida uma proporção mínima da classe Corpo d'Água de 15% da área mapeada não associada à classe Área Estabelecida, com o objetivo de identificar se o PLN está à margem de um curso d'água. Caso a proporção da classe água fosse inferior a 15%, o contexto foi definido de acordo com maior proporção em relação às outras classes. Quando não há a ocorrência da classe Área Estabelecida, o PLN foi contextualizado da mesma forma, mas recebeu denominação idêntica à da classe com maior

proporção, ou Água, quando a proporção desta classe foi maior que 15% (Figura 3.9).

Figura 3.9 – Fluxograma de Contextualização dos Polígonos de Luzes Noturnas Estáveis de acordo com a Proporção das Classes de Uso e Cobertura agrupadas



Fonte: Produção do autor.

Os PLN's que não sobrepueram nenhuma coordenada de endereço foram descartados da análise de correlação e submetidos à inspeção visual através das imagens de alta resolução RapidEye e BingMaps. Verificou-se se não haveriam estruturas que pudessem caracterizar um imóvel passível de ser endereçado ou que constituíssem uma Área Estabelecida. Também foram investigados os PLN's onde não houve a ocorrência da classe Área

Estabelecida, com o propósito de aferir se o PLN estaria associado a algum ruído ou erro de processamento; ou se o PLN estaria associado a estabelecimentos, edificações rurais, áreas urbanizadas ou mosaicos de ocupações não mapeados. A investigação dos PLN's seguiu as diretrizes propostas na seção 3.4, porém, além de áreas urbanizadas, foram também identificadas quaisquer estruturas que estivessem associadas com a emissão de luzes noturnas estáveis. Ao todo, 141 PLN's sem o registro de áreas estabelecidas ou endereços foram inspecionados (aprox. 10% do número de PLN's amostrados). Por fim, foi adotada uma medida de similaridade para comparar a frequência de PLN's não associados a áreas estabelecidas com a frequência de PLN's associados a áreas estabelecidas. A composição dessa métrica tem o intuito de identificar se o contexto de ocupação está relacionado com a frequência de omissão de Áreas Estabelecidas (Equação 3.5):

$$Smd = 1 - \left(\frac{\sqrt{(Fe-Fn)^2}}{(Fe+Fn)} \right) \quad (3.5)$$

em que Smd é a Similaridade; Fe é a frequência de PLN's de determinado contexto de ocupação com a presença de áreas estabelecidas; Fn é a frequência de PLN's do mesmo contexto sem a presença de áreas estabelecidas. Quando Smd = 0, todos os PLN's têm áreas estabelecidas ou todos os PLN's não estão associados às Áreas Estabelecidas. Quando Smd = 1, o número de PLN's com Áreas Estabelecidas é igual ao número de PLN's sem Áreas Estabelecidas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

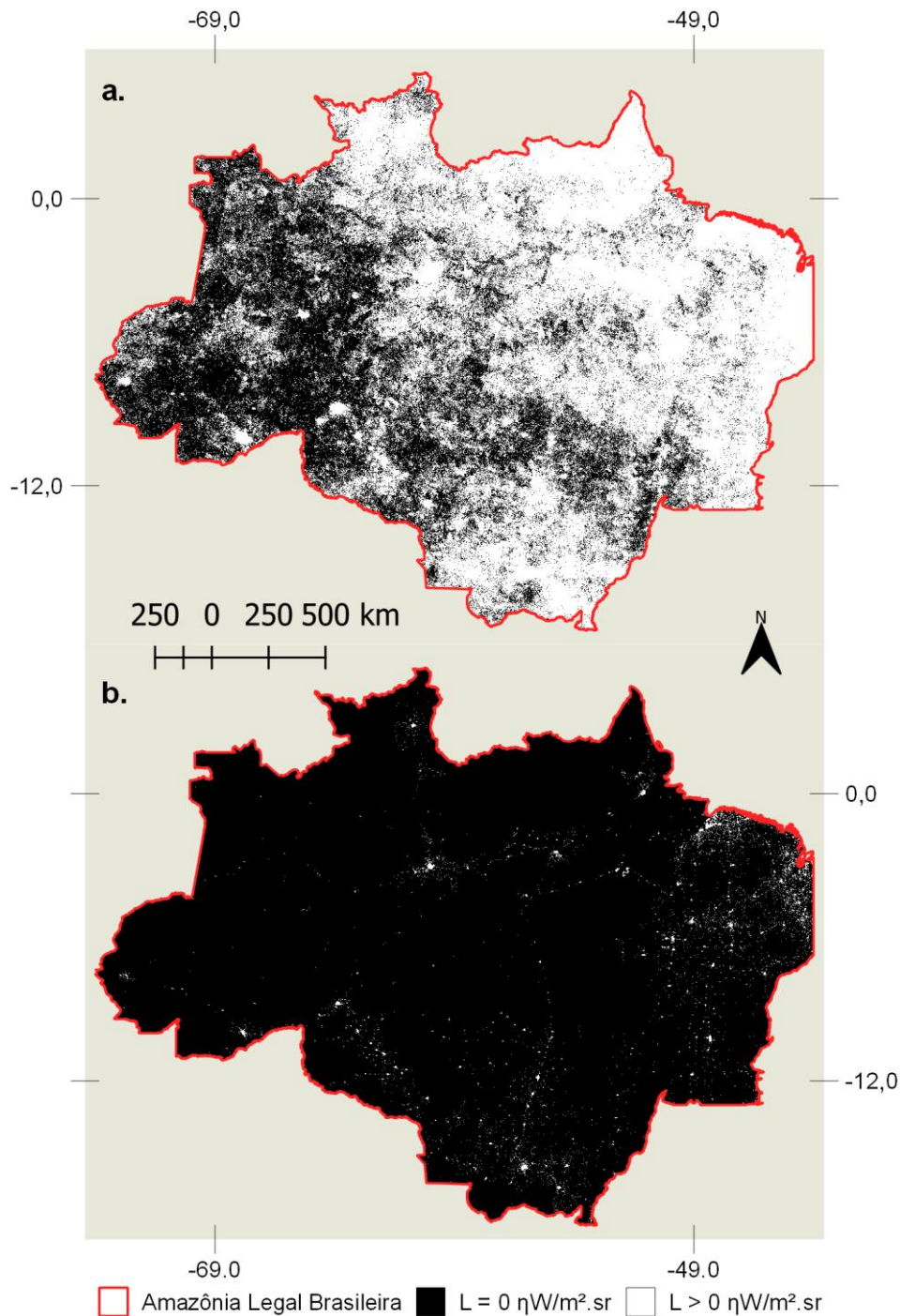
4.1. Geração da composição de luzes noturnas estáveis

A composição VIIRS/DNB de luzes noturnas estáveis para o ano de 2014 resultou da filtragem de 14.993.683 pixels (Figura 4.1). Estes pixels, inicialmente detectados pela composição anual de luzes noturnas não submetida ao processo de filtragem, se distribuem em cerca de 3.225.732 km² da área de estudos (Figura 4.2). Após a filtragem dos pixels associados ao *background*, apenas 2,03% do total apresentaram níveis de radiância maiores que zero e foram atribuídos à presença de luzes noturnas estáveis (aprox. 65.482 km²), perfazendo, ao todo, 1,26% do território da AML.

Duas principais considerações podem ser feitas quanto às limitações provenientes do emprego desse método e como elas se refletem nos resultados obtidos. A primeira resulta da utilização de uma composição estável do ano de 2015 como parâmetro de filtragem para a composição de 2014. A hipótese que fundamenta este método é a de que um pixel não iluminado em determinada localização geográfica em um ano posterior não estaria iluminado em um ano anterior (WU et al., 2018). A implicação disto é a omissão de assentamentos que, porventura, durante o período entre 2014 e 2015, tenham perdido acesso à iluminação externa.

A segunda consideração refere-se ao método utilizado para a remoção de dados considerados como *background* pelo algoritmo empregado sobre as composições anuais do sensor VIIRS/DNB e à forma com que ele foi avaliado por Elvidge et al. (2017). Os autores realizaram suas análises no continente australiano e compararam a contagem de células iluminadas após a remoção de *background* com a grade de estimativa populacional do ano de 2015, esta gerada pelo projeto Landsat (BHADURI et al., 2007). Os autores observaram que apenas 1,7% dos pixels identificados como *background* sobrepujam áreas com a presença de população.

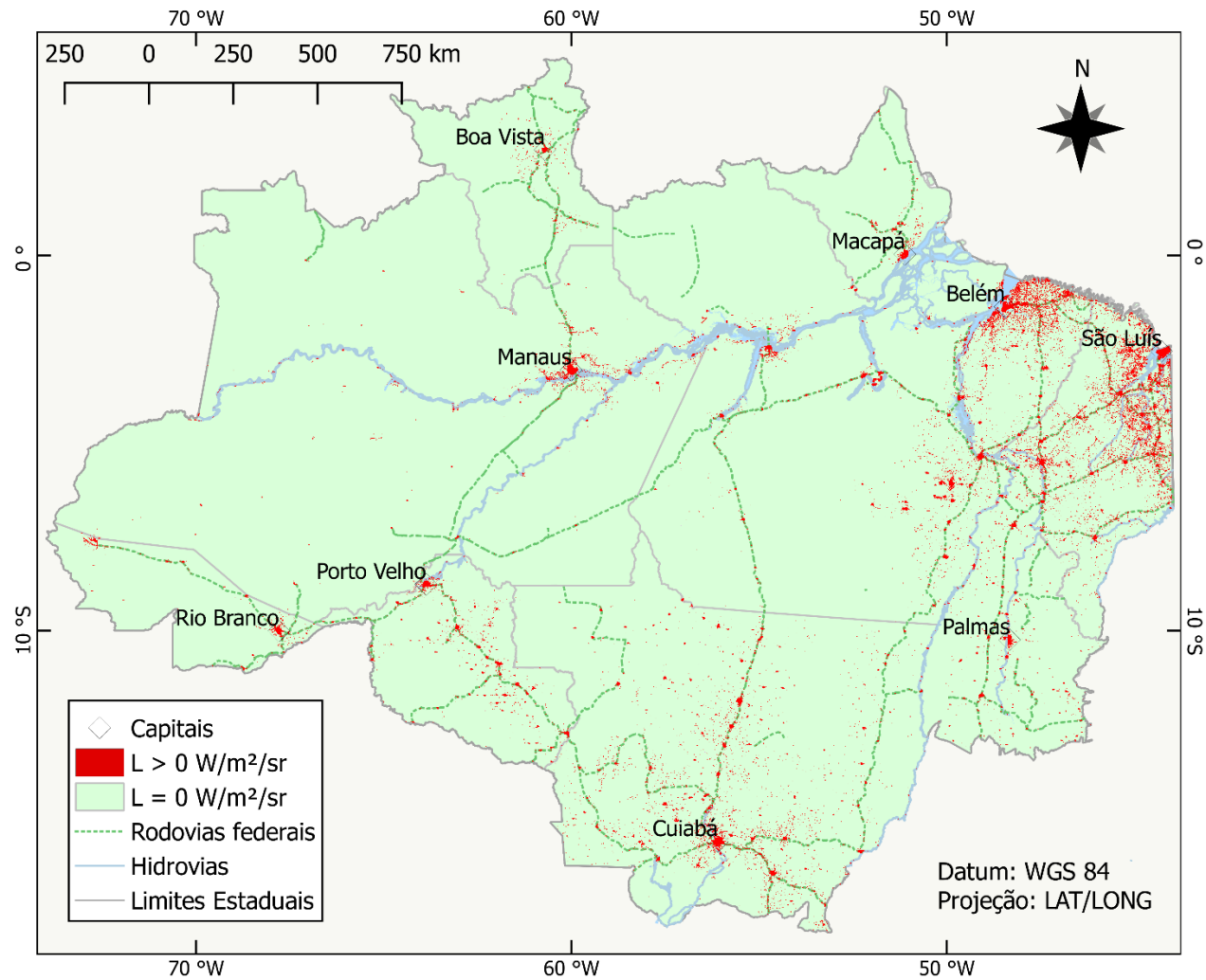
Figura 4.1 - Composição VIIRS/DNB de luzes noturnas do ano de 2014 para a região da Amazônia Legal Brasileira.



a. representação binária dos valores positivos resultantes da média aritmética dos níveis de radiância (L) das composições mensais de luzes noturnas observadas durante o ano de 2014; b. composição de luzes noturnas estáveis resultante da filtragem do *background*.

Fonte: Produção do autor.

Figura 4.2 - Composição VIIRS/DNB de luzes noturnas (L- radiância) do ano de 2014 para a região da Amazônia Legal Brasileira.



Fonte: Produção do autor.

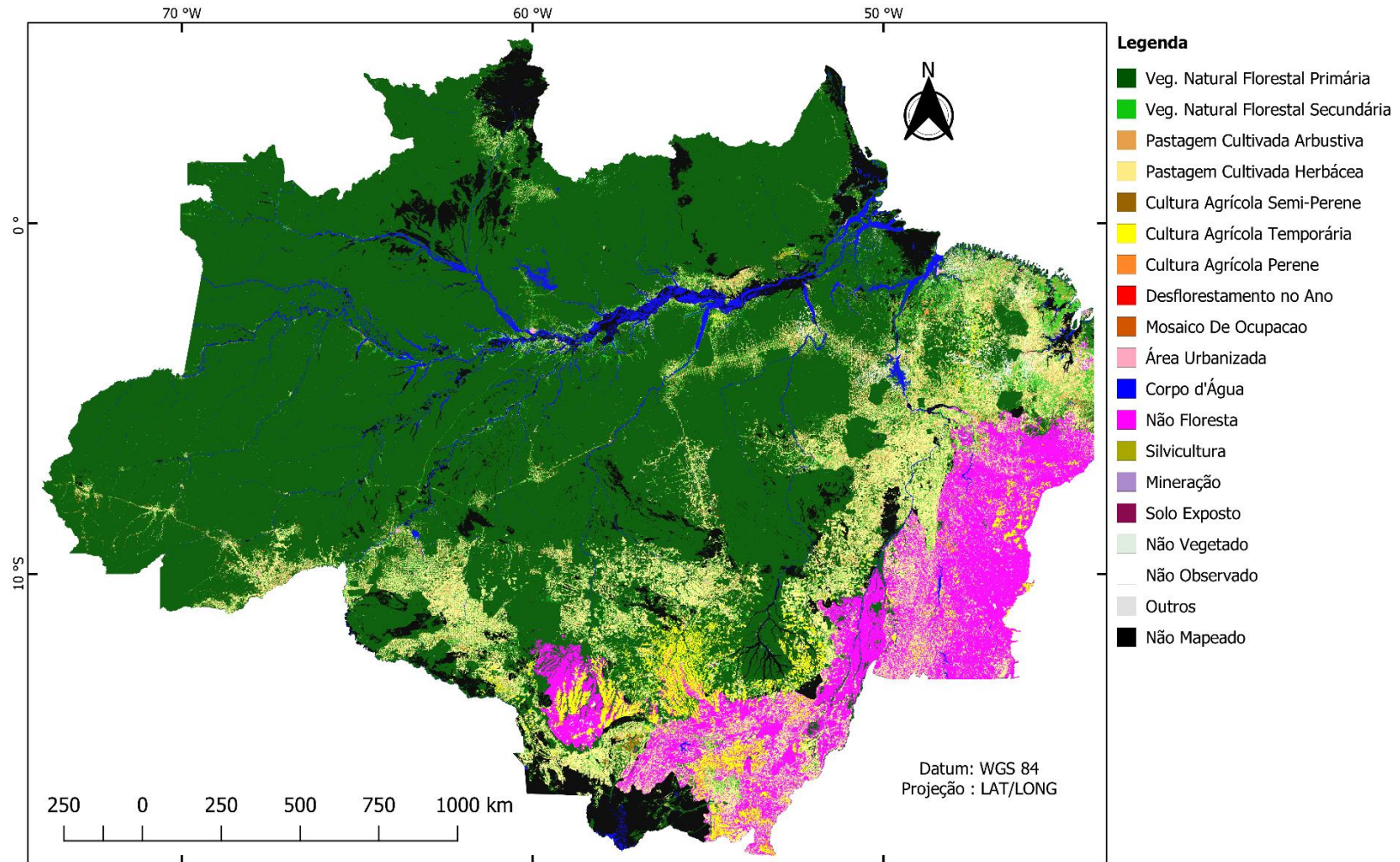
O modelo Landscan é uma representação dasimétrica da distribuição populacional estimada a partir da ponderação de diversos fatores correlacionados com a distribuição e densidade populacional, como distância à infraestrutura viária, declividade, uso e cobertura da terra e dados censitários (BHADURI et al., 2007). Embora robusto, algumas evidências indicam que o modelo tende a subestimar a população em zonas de alta densidade populacional e superestimar as de baixa densidade (CALKA e BIELECKA, 2019). Linard et al. (2012) compararam produtos que têm propostas similares ao Landscan e observaram que o Landscan foi o mais acurado em estimar a população a nível nacional em países da África, mas também foi o que pior estimou a população ao nível de pixel.

Tanto as desvantagens supracitadas quanto o método de análise da efetividade do algoritmo de remoção de *background* são particulares ao escopo dos estudos mencionados e, portanto, podem não se estender para as configurações da AML. Desse modo, as análises subsequentes partem do pressuposto de que a composição VIIRS/DNB de luzes noturnas estáveis possa ter omitido pequenos núcleos populacionais.

4.2. Integração dos dados de uso e cobertura da terra e luzes noturnas estáveis

A integração dos dados TerraClass Cerrado 2013 e TerraClass Amazônia 2014 resultou na elaboração de uma legenda que compatibiliza classes de uso e cobertura da terra comuns e mantém outras exclusivas de seus respectivos produtos (Figura 4.3). Apenas as áreas não florestais incluídas na AML e mapeadas pelo TerraClass Cerrado 2013 foram reclassificadas de acordo com as classes equivalentes propostas na Tabela 3.5.

Figura 4.3 - Mapa de uso e cobertura da terra da Amazônia Legal Brasileira, TerraClass Amazônia 2014 e TerraClass Cerrado 2013.

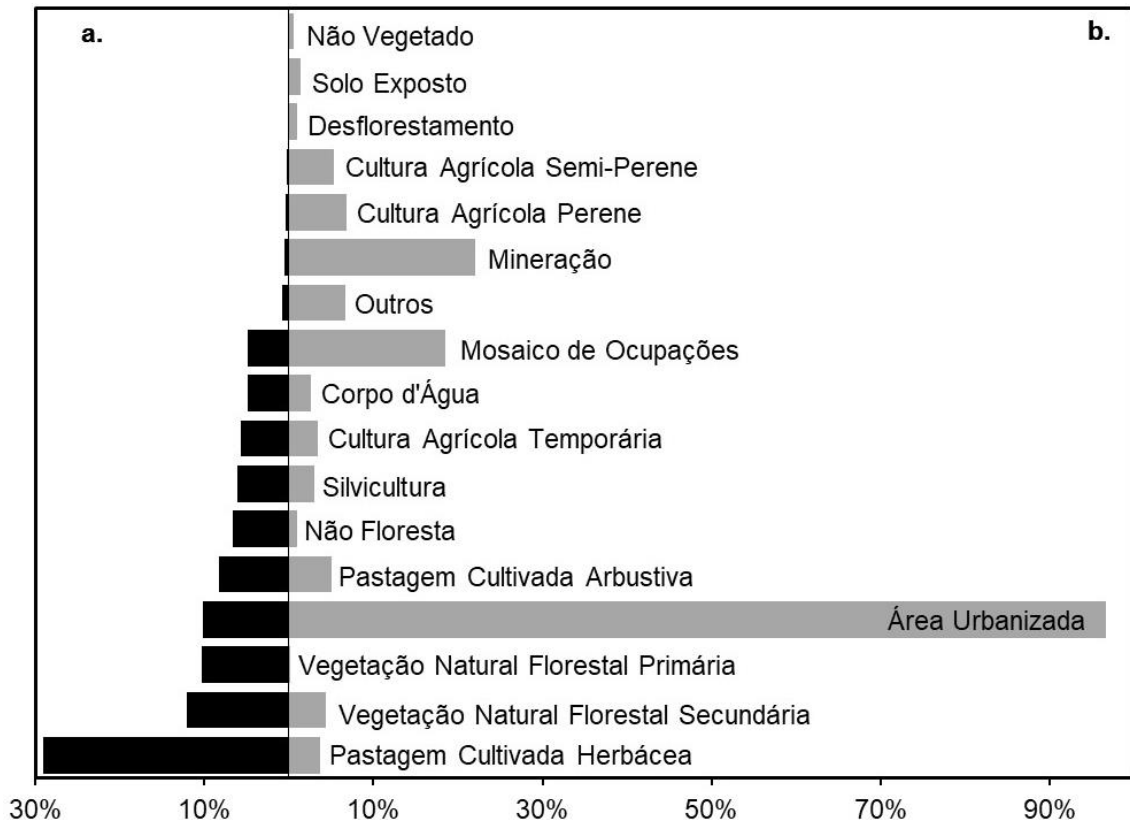


Fonte: Adaptado de EMBRAPA e INPE (2013, 2014a, 2014b).

Dentre as áreas não mapeadas, algumas destacam-se pela sua extensão: (i) a porção sudoeste e centro-sul do estado do Mato Grosso, onde ocorrem, originalmente, fitofisionomias savânicas inseridas no bioma Pantanal; (ii) a macrorregião do Marajó, ao norte do estado do Pará, com a predominância de formações pioneiras com influência fluvial/lacustre; (iii) o extremo norte do Amapá e a macrorregião dos Lagos, a leste do estado, também com a ocorrência de formações pioneiras com influência fluvial/lacustre e algumas formações savânicas menores; (iv) nordeste do estado de Roraima, com a ocorrência de formações savânicas variadas e; (v) norte do estado do Amazonas, onde ocorrem determinadas variações da fitofisionomia Campinarana (BRASIL, 2006). No total, aproximadamente 502.763 km² não foram mapeados ou não observados devido à presença de nuvens, totalizando 9,64% da área de estudos.

A partir da interseção da composição de luzes noturnas estáveis do ano de 2014 e os dados de uso e cobertura da terra integrados produzidos, observou-se que apenas 1,27% do território mapeado da AML apresentou níveis de radiância maiores que zero (aprox. 59.971 km²). De modo contraintuitivo, as áreas mais frequentemente iluminadas referem-se a classes de uso e cobertura da terra que não são, teoricamente, associadas à presença de infraestruturas de iluminação noturna exteriores (Figura 4.4).

Figura 4.4 - Porcentagem de áreas iluminadas por classe de uso e cobertura da terra.



a. Porcentagem de pixels iluminados por classe referentes ao total iluminado; b.

Porcentagem de pixels iluminados em relação a área total de cada classe.

Fonte: Produção do autor.

De modo decrescente, as classes mais frequentemente iluminadas são: Pastagem Cultivada Herbácea (29,03%), Vegetação Natural Florestal Secundária (12,15%), Vegetação Natural Florestal primária (10,37%), Área Urbanizada (10,13%), Pastagem Cultivada Arbustiva (8,23%), Não Floresta (6,65%), Silvicultura (6,11%), Corpo d'Água (4,88%) e Mosaico de Ocupações (4,88%). O restante das classes detém proporções inferiores a 1%.

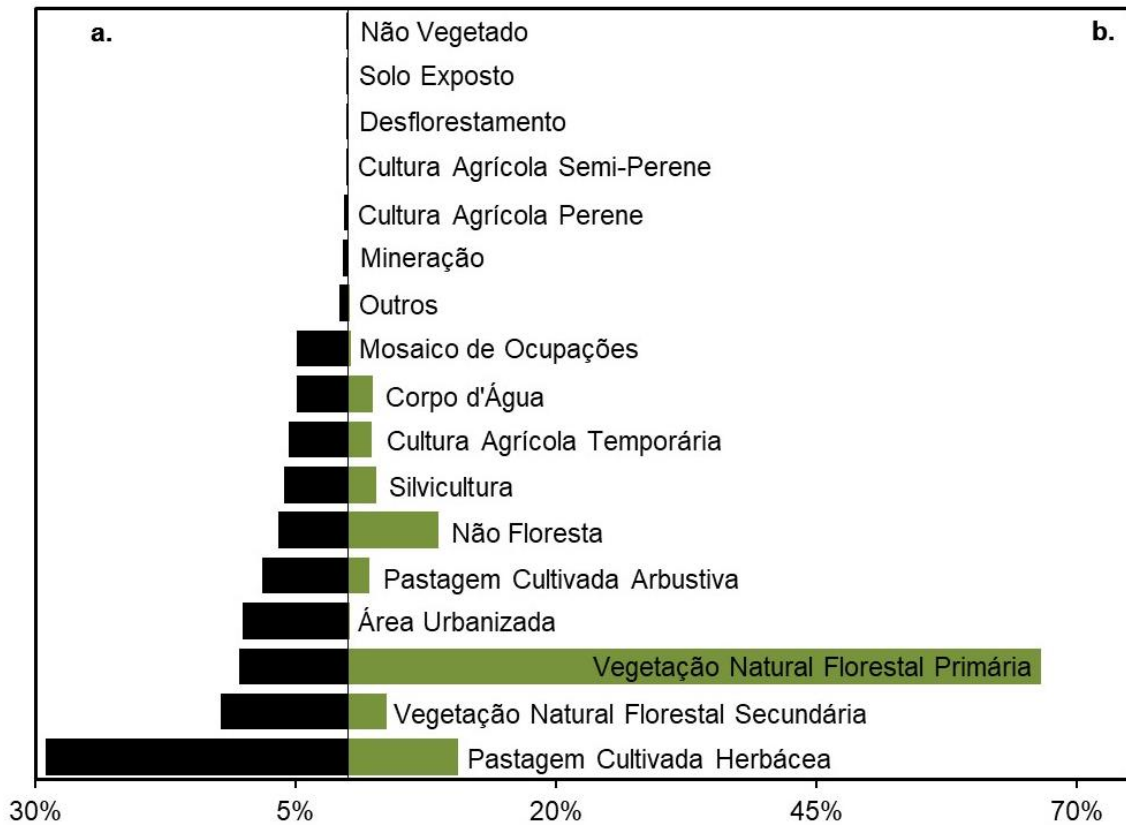
Em contrapartida, a proporção da área iluminada relativa à área total de cada classe se distribui de modo mais coerente. Decrescentemente, as classes que apresentam maior área iluminada relativa à sua própria área de ocorrência foram: Área Urbanizada (96,59%), Mineração (22,02%), Mosaico de Ocupações (18,51%), Cultura Agrícola Perene (6,82%), Outros (6,72%), Cultura Agrícola

Semi-Perene (5,25%), Pastagem Cultivada Arbustiva (5,11%), Vegetação Natural Florestal Secundária (4,34%) e Pastagem Cultivada Herbácea (3,62%). Demais classes detêm proporções de áreas iluminadas inferiores a 3%. A alta frequência de classes iluminadas tipicamente rurais observada, aliada às questões expostas sobre as limitações da avaliação da eficácia do algoritmo de remoção do *background*, poderiam ser evidências de que núcleos populacionais rurais estariam sendo removidos pelo método empregado. No entanto, deve-se considerar também o efeito *overflow* e a preponderância da ocorrência de determinadas classes de uso e cobertura da terra.

Ma (2018a) também observou que as classes de uso e cobertura da terra mais frequentemente sobrepostas por pixels iluminados, na China, são típicas de áreas rurais, como lavouras (~49%) e áreas florestais (~15%). A divergência entre as classes observadas por Ma (2018a) e os resultados apresentados na Figura 4.5 podem ser atribuídos a dois fatores: (i) a maior especificidade das classes adotadas no desenvolvimento deste trabalho, que diferencia, por exemplo, áreas florestais em processo de regeneração e áreas florestais que não foram suprimidas desde o início do mapeamento (ALMEIDA et al., 2016); (ii) a divergência entre as preponderâncias de determinadas classes de uso e cobertura da terra observadas.

Para que a segunda afirmação seja considerada um fator isolado, no sentido de que a maior frequência de determinada classe iluminada seja atribuída ao efeito *overflow* em conjunto com a preponderância daquela classe, seria necessário que a distribuição das preponderâncias de cada classe de uso e cobertura da terra iluminadas fosse similar à da AML como um todo, ao menos no tocante ao seu ordenamento. A Figura 4.5 compara a ordem de preponderância das classes entre estes dois produtos.

Figura 4.5 - Comparação entre as porcentagens de classes de uso e cobertura da terra da Amazônia Legal Brasileira iluminada e Amazônia Legal Brasileira mapeada.



a. Porcentagem de pixels iluminados por classe, referentes ao total iluminado; b. Porcentagem de pixels iluminados em relação a área total da Amazônia Legal Brasileira mapeada.

Fonte: Produção do autor.

Ao comparar o ordenamento das porcentagens de classes de uso e cobertura da terra relativo à área total da AML e à área iluminada, nota-se que as classes não são ordenadas da mesma forma. As classes Vegetação Natural Florestal Primária e Não Floresta se destacam por representarem uma parcela maior da AML do que quando comparadas apenas às áreas iluminadas. As demais classes, em valores absolutos, são mais frequentes em áreas iluminadas. As classes Vegetação Natural Florestal Primária e Não Floresta destacam-se por representarem uma parcela maior da AML do que quando comparadas apenas

às áreas iluminadas. As demais classes, em valores absolutos, são mais frequentes em áreas iluminadas.

4.3. Comparação estatística das proporções de classes de uso e cobertura da terra

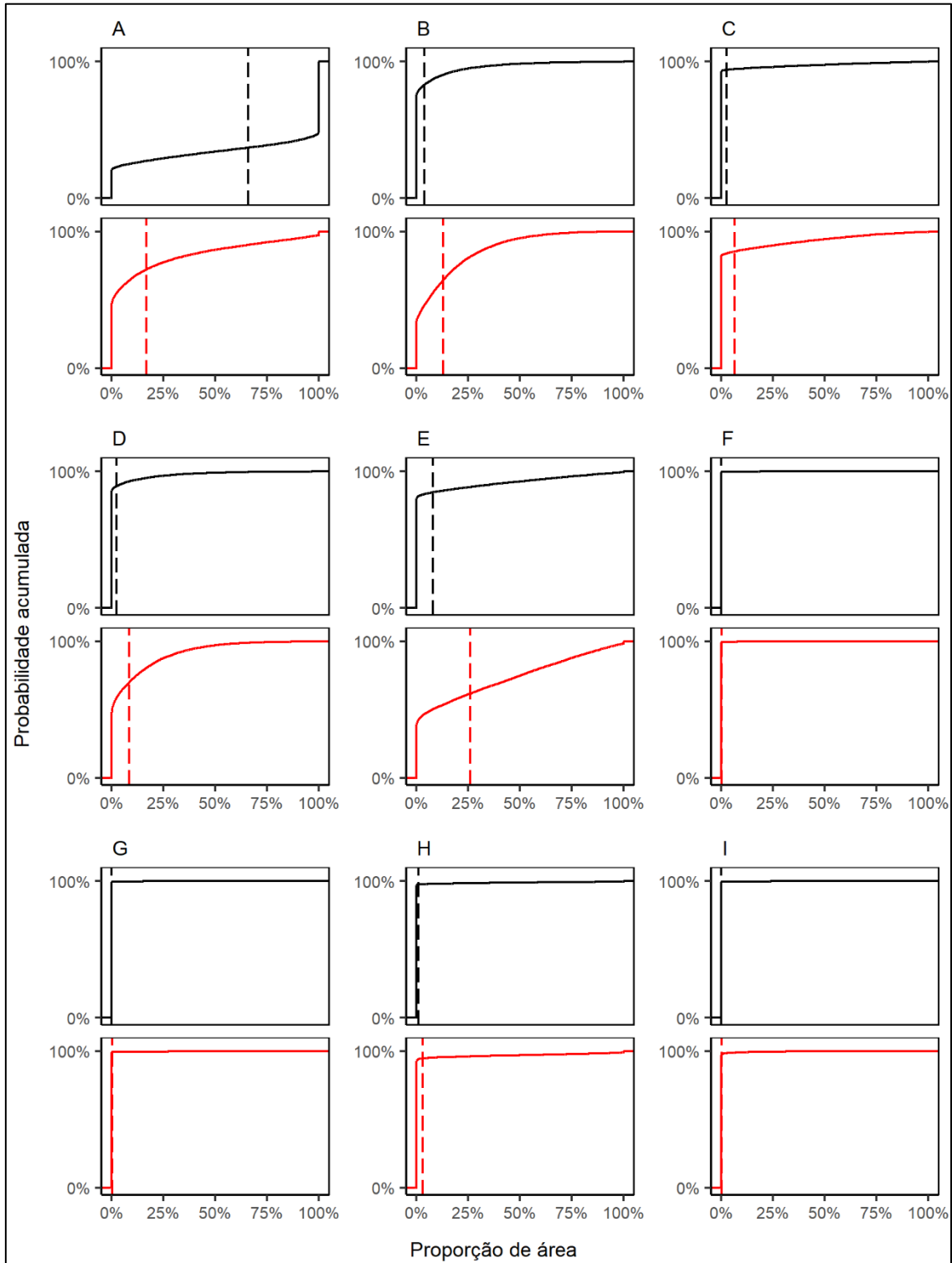
Esta seção é subdividida em duas partes. A primeira apresenta uma análise sobre os resultados obtidos a partir da análise estatística das proporções de classes de UCT na AML em áreas iluminadas. O foco desta seção é a descrição dos resultados e sua interpretação em termos teóricos. A segunda parte analisa quais aspectos práticos poderiam ser associados aos resultados obtidos, considerando as características do território da AML.

4.3.1. Análise descritiva das estatísticas associadas aos dados de uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira

A distribuição das proporções de classes de UCT em áreas iluminadas parece não ocorrer da mesma forma que na AML como um todo. Com o intuito de atestar estas diferenças ponderando a possibilidade de ocorrência de erros observacionais aleatórios, optou-se, primeiramente, por conduzir o teste estatístico. O primeiro conjunto é constituído por amostras aleatórias dos PLN's inseridos na AML. O segundo é constituído por amostras aleatórias da AML com a mesma distribuição das áreas e tamanho amostral do conjunto anterior. Os detalhes da configuração deste experimento são apresentados na Seção 3.5.

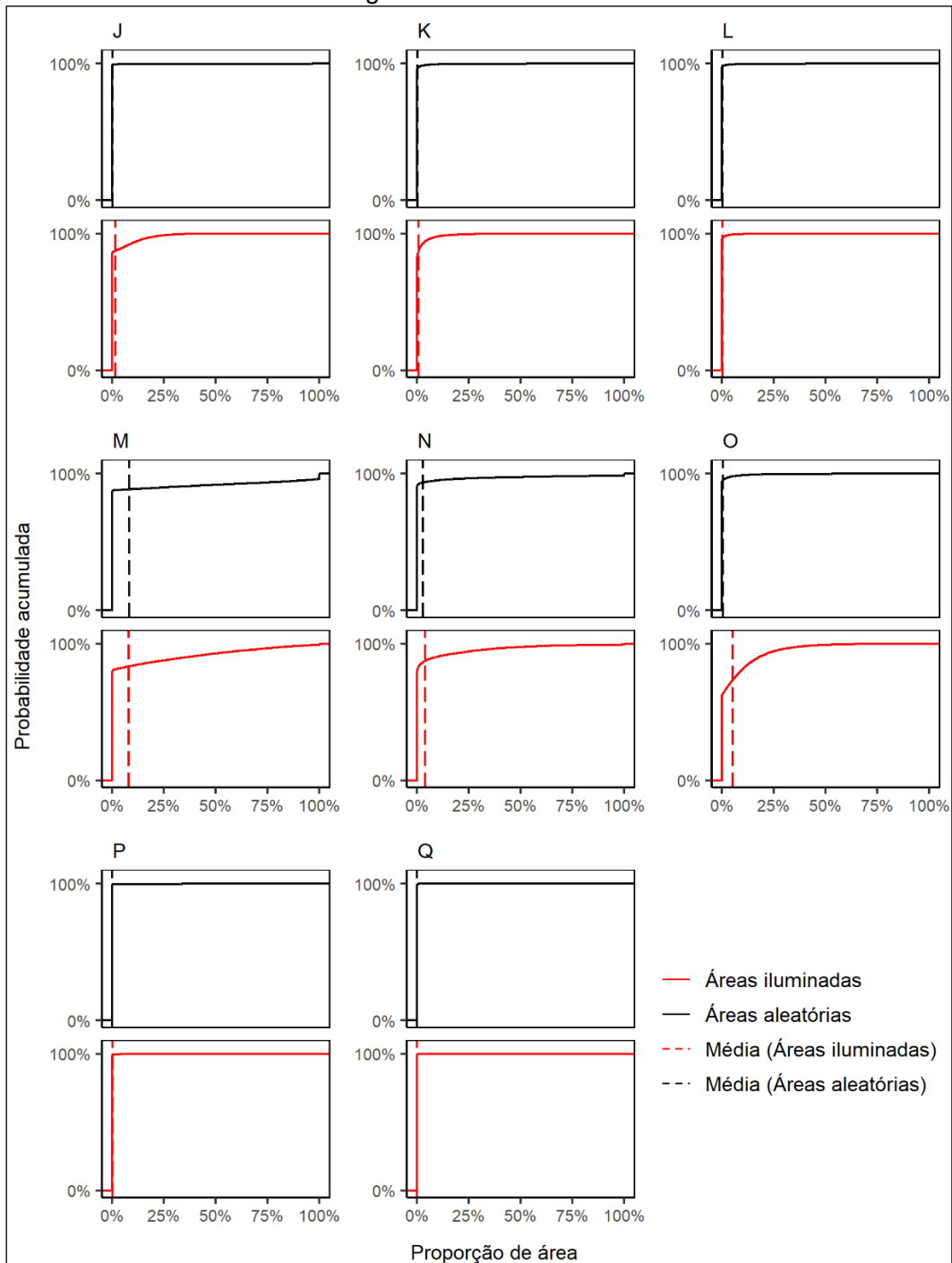
Na AML, a maioria das classes de UCT tem distribuição de frequência das proporções assimétrica à esquerda (Figura 4.6), com excessão das amostras da classe Florestal Natural Florestal Primária, que aproxima-se à uma bimodal. Para comparar as médias das populações sem a necessidade de inferir a relação entre suas variâncias, optou-se então pela condução de uma simulação estocástica para submeter as médias a um teste de hipótese paramétrico (Tabela 4.1).

Figura 4.6 - Distribuição acumulada de frequências das proporções das classes de uso e cobertura da terra da Amazônia Legal Brasileira e da Amazônia Legal Brasileira iluminada.



Contínua.

Figura 4.6 - Conclusão.



A. Vegetação Natural Florestal Primária; B. Vegetação Natural Florestal Secundária; C. Silvicultura; D. Pastagem Cultivada Arbustiva; E. Pastagem Cultivada Herbácea; F. Cultura Agrícola Perene; G. Cultura Agrícola Semi-Perene; H. Cultura Agrícola Temporária; I. Mineração; J. Urbanizada; K. Outros; L. Desflorestamento; M. Não Floresta; N. Corpo d'Água; O. Mosaico de Ocupações; P. Solo Exposto; Q. Não Vegetado.

Fonte: Produção do autor.

Tabela 4.1 – Valor p dos testes de t de Student e de Welch aplicados às amostras das simulações estocásticas (n= 200, $\alpha = 0,01$).

Classe	t	p valor ($H_0: \bar{X}_B = \bar{X}_A$)		
		$H_1: (\bar{X}_B < \bar{X}_A)$	$H_1: \bar{X}_B \neq \bar{X}_A$	$H_1: \bar{X}_B > \bar{X}_A$
Vegetação Nat. Flor. Primária	-789,0	0,00	0,00	1,00
Vegetação Nat. Flor. Secundária	383,5	1,00	0,00	0,00
Silvicultura	152,5	1,00	0,00	0,00
Past. Cult. Arbustiva	327,7	1,00	0,00	0,00
Past. Cult. Herbácea	401,6	1,00	0,00	0,00
Cultura Agr. Perene	-	-	-	-
Cultura Agr. Semi-Perene	-	-	-	-
Cultura Agr. Temporária	95,2	1,00	0,00	0,00
Mineração	-	-	-	-
Área Urbanizada	202,0	1,00	0,00	0,00
Outros	131,3	1,00	0,00	0,00
Desflorestamento	8,9	1,00*	0,00*	0,00*
Não Floresta	-3,7	0,00	0,00	1,00
Corpo d'Água	45,7	1,00*	0,00*	0,00*
Mosaico de Ocupações	375,7	1,00	0,00	0,00
Solo Exposto	-	-	-	-
Não Vegetado	-	-	-	-

A - Conjunto amostral dos polígonos iluminados; B - Conjunto amostral de polígonos aleatórios; \bar{X} – Média amostral; *Teste T de Welch para amostras heterocedásticas; H_0 - Hipótese nula; H_1 – Hipótese alternativa; t – Estatística t. As classes omitidas não apresentaram distribuição normal das proporções médias amostrais.

Os níveis descritivos dos testes de Shapiro-Wilk indicaram que alguns dos conjuntos de proporções médias amostrados não se adequaram a uma distribuição normal. Estes conjuntos são as classes cujas distribuições estão ilustradas na Figura 4.6F, G, I, P e Q, i. e., Cultura Agrícola Perene, Semi-Perene, Mineração, Solo Exposto e Não Vegetado, respectivamente, sendo omitidas das discussões subsequentes. Os resultados indicam que a não normalidade destas distribuições deve-se ao fato de que estas classes de UCT compõem eventos raros na AML e, mesmo quando há ocorrências, acontecem em proporções pequenas quanto à área iluminada na qual estão inseridas. As demais classes apresentam valores p significativos quando $\alpha = 0,01$, indicando que não há

evidências estatísticas de que as proporções médias dessas classes nas áreas iluminadas são iguais às proporções médias das áreas aleatórias.

4.3.2. Considerações práticas sobre as comparações de dados de uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira

As classes Cultura Agrícola Perene, Cultura Agrícola Semi-Perene, Mineração, Solo Exposto e Não Vegetado representam eventos tão raros na AML que não foram consideradas nas discussões subsequentes.

Nesta seção, denomina-se “expressiva” a classe de uso e cobertura da terra cuja média amostral é maior em um grupo A comparado ao grupo B. No entanto, o termo só faz sentido quando associado à noção de cardinalidade (se determinada classe de um Grupo A é mais expressiva em relação ao Grupo B, deve-se afirmar que esta classe de um Grupo B é menos expressiva em relação ao Grupo A). Por exemplo, a classe Vegetação Natural Florestal Primária é mais expressiva em toda a AML do que apenas nas suas áreas iluminadas, posto que a média amostral estimada é significativamente maior em toda a AML.

Apenas a classe Vegetação Natural Florestal Primária é menos expressiva em áreas iluminadas, embora seja também a segunda classe mais frequentemente associada a estas áreas (aprox. 25%). Uma vez que a detecção de áreas iluminadas tenha sido constantemente reportada pela literatura como um indicador da distribuição espacial de assentamentos humanos, é compreensível que remanescentes florestais naturais sejam menos expressivos em áreas onde estruturas antrópicas tenham sido estabelecidas (CHOWDHURY et al., 2018; DOU et al., 2017; ELVIDGE et al., 1997; IMHOFF et al., 1997). A sua frequente associação às áreas iluminadas, aliada à sua menor expressividade, indicam que as áreas florestais naturais primárias ainda compõem o entorno da maioria dos núcleos populacionais, porém representam uma proporção muito diminuta do que o normalmente associado à AML.

A classe Corpo d'Água representa corpos d'Água artificiais e naturais, como rios, represas, açudes, lagos e lagoas. A proporção média é significativamente maior em áreas iluminadas. Sua maior expressividade em áreas antropizadas é explicada pelos preceitos históricos do processo de ocupação da AML, que até

a metade do século XX ocorre predominantemente por vias fluviais. É somente após a implementação de políticas territoriais, na segunda metade do século XX, que se dá o surgimento de grandes núcleos populacionais dissociados de vias fluviais, justamente devido à ampliação da malha viária no território amazônico (BECKER, 2009b).

A alta frequência de classes de UCT naturais ou típicas do meio rural inseridas nessas áreas iluminadas não parece ser consequência exclusiva de um efeito físico causador de contaminação, mas sim resultado configurações de UCT típicas, porém diversas, dos núcleos populacionais amazônicos.

Uma vez estabelecida a existência de uma relação coerente entre a distribuição espacial dos dados de luzes noturnas estáveis produzidos e os aspectos geográficos amazônicos associados aos dados de UCT (i. e., classes de UCT naturais detém proporções menores em áreas iluminadas, enquanto classes decorrentes da intervenção antrópica detém proporções maiores em áreas iluminadas), as próximas seções abordam as potencialidades da utilização desses dados no auxílio da identificação e descrição dos núcleos populacionais da região, bem como suas prováveis limitações.

4.4. Luzes noturnas estáveis como ferramenta para o mapeamento do urbano na Amazônia Legal

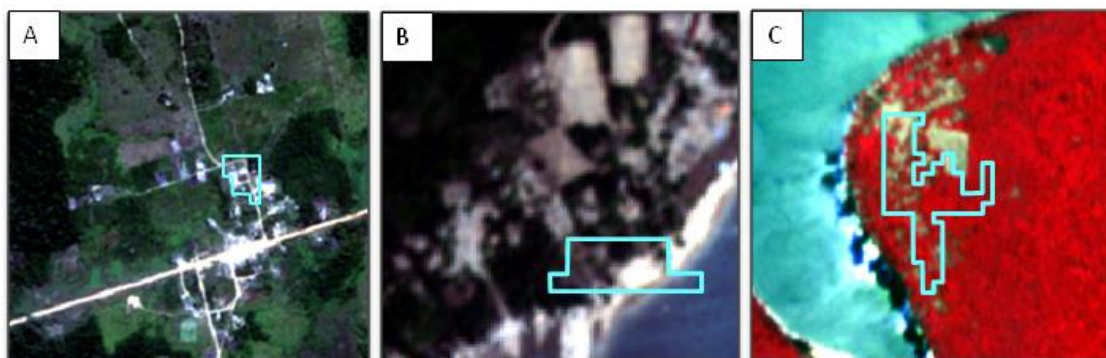
As áreas urbanizadas são as mais frequentemente associadas aos dados de luzes noturnas, em termos relativos. Aproximadamente 96,59% dos pixels mapeados como Área Urbanizada sobrepõem áreas nas quais níveis positivos de luzes noturnas estáveis foram detectados, embora esta porcentagem corresponda a apenas 10,74% da área total iluminada. É difícil afirmar se a porcentagem de pixels urbanos não detectados pelos dados de luzes noturnas estariam associadas a erros de comissão estimados pelo mapeamento de UCT. A avaliação do resultado final do projeto TerraClass ainda se limita ao ano de 2008, na qual os erros de omissão e comissão da classe urbana não foram representados (ALMEIDA et al., 2016). Até onde a literatura referencial foi consultada, apenas um estudo avaliou essas métricas referentes às áreas urbanas, no qual não foram observados erros de comissão ou omissão no

mapeamento da classe urbana (BARROS et al., 2018). Entretanto, o estudo é limitado a apenas um município do estado do Pará, tornando os seus resultados pouco relevantes para o escopo deste trabalho.

Ao todo, 600 polígonos de áreas urbanas não estavam inseridos em PLN's, sendo que destes, sete polígonos não puderam ser corretamente avaliados a partir das imagens disponíveis, 539 polígonos foram erroneamente mapeados como áreas urbanas pelo TerraClass integrado (aprox. 89,99%) e 54 corretamente classificados (aprox. 10,01%). Deve-se ressaltar que o critério para a definição de interpretação manteve-se fiel às definições e critérios adotados pelo TerraClass integrado, que praticamente não difere entre as versões 1 e 2 do TerraClass Amazônia e do TerraClass Cerrado (ver Tabela 3.3, 3.4 e 3.5)

Ambos erros e acertos do mapeamento da classe Área Urbanizada pelo TerraClass, omissos pelos dados de luzes noturnas, foram associados a aspectos geográficos específicos a cada um dos casos, como áreas desmatadas, formações rochosas, áreas construídas, entre outros. As áreas corretamente classificadas como urbanas e não sobrepostas por dados de luzes noturnas têm configurações pouco diversificadas. Esses polígonos correspondem, predominantemente, a regiões periféricas de pequenos núcleos populacionais, onde há a presença de alguma infraestrutura urbana/rural, solo exposto ou algum outro tipo de interferência antrópica. Nessas áreas também há presença de dados de luzes noturnas, mas que não sobrepõem toda a porção urbana descrita pelo TerraClass (Figura 4.7).

Figura 4.7 - Ilustrações de áreas corretamente mapeadas pelo TerraClass como áreas urbanas sem a detecção de luzes noturnas estáveis.



Polígonos em cor ciano representam áreas corretamente classificadas como áreas urbanas pelo TerraClass, não sobrepostas por dados de luzes noturnas estáveis. A) Núcleo populacional isolado (RGB: R-G-B); B) Núcleo populacional ribeirinho (RGB: R-G-B); C) Núcleo populacional ribeirinho: vegetação florestal (vermelho); água (ciano); solo exposto e áreas construídas (tons de amarelo, RGB: NIR-R-G).

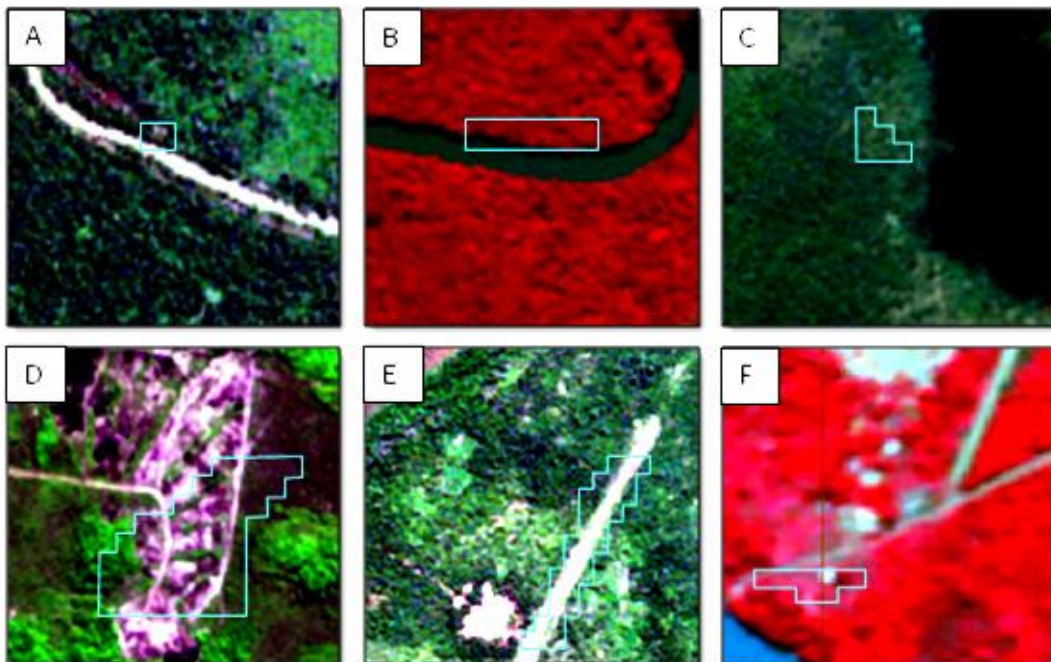
Fonte: Produção do autor.

Por sua vez, as áreas avaliadas como erroneamente classificadas como Áreas Urbanizadas pelo TerraClass integrado são mais diversas e podem ser identificadas de acordo com as seguintes características (Figura 4.8):

- a) Áreas desmatadas ou sem vegetação: áreas desconexas de núcleos populacionais sem a presença de vegetação florestal nativa ou vegetação florestal secundária. Geralmente configuradas como clareiras, vegetação florestal natural suprimida pela ação de fogo ou afloramentos rochosos.
- b) Margens fluviais: bancos de areia e encostas com ou sem a presença de vegetação florestal, dissociadas de núcleos populacionais e distribuídas ao longo das margens de rios. Polígonos são geralmente isolados.
- c) Pistas de pouso: áreas desmatadas retangulares com solo exposto e compactado; não asfaltadas. Podem ou não apresentar pequenas estruturas construídas, geralmente anexas a estabelecimentos rurais, aldeias indígenas ou instalações residências isoladas.

- d) Construções: áreas construídas desconexas de núcleos populacionais, geralmente relacionadas a estabelecimentos agropecuários, como barracões, silos e estufas.
- e) Áreas rurais e tradicionais: estruturas isoladas tipicamente rurais, voltadas à habitação, desconexas de núcleos populacionais maiores, como chácaras, sítios e aldeias indígenas com infraestrutura tradicional. Também estão incluídos pequenos assentamentos sem infraestrutura urbanística, especificamente arruamento, quadras, etc.

Figura 4.8 - Ilustrações de áreas erroneamente mapeadas pelo TerraClass integrado como Áreas Urbanizadas sem a detecção de luzes noturnas estáveis.



Polígonos em cor ciano representam áreas erroneamente classificadas como áreas urbanas pelo TerraClass, não sobrepostas por dados de luzes noturnas estáveis. A) Clareira à margem de rio (RGB: R-G-B); B) Vegetação natural florestal (vermelho) e água (em tons de cinza, RGB: NIR-R-G); C) Formações rochosas em meio à vegetação natural florestal (RGB: R-G-B); D) Área desmatada: vegetação (verde), áreas desmatadas e solo exposto (tons de magenta, RGB: R-NIR-G); E) Pista de pouso associada à aldeia indígena (RGB: R-G-B); F) Aldeia indígena: vegetação (tons de vermelho), solo exposto (tons de ciano, RGB: NIR-R-G).

Fonte: Produção do autor.

A partir da ponderação dos resultados obtidos até então, algumas considerações podem ser feitas quanto à utilização das composições de luzes estáveis como ferramenta para a identificação de áreas urbanas na AML. Observa-se uma alta concordância entre a presença de luzes noturnas estáveis e a distribuição das áreas urbanas na região (Tabela 4.3). A parcela de áreas urbanas em que não houve a detecção de luzes pode ser dividida em três principais categorias. As duas primeiras correspondem às áreas erroneamente classificadas como urbanas, e a terceira às áreas corretamente classificadas.

Tabela 4.2 – Frequência de tipos de feições associadas às áreas urbanas mapeadas pelo TerraClass Amazônia e TerraClass Cerrado não detectadas pela composição de luzes estáveis do sensor VIIRS/DNB.

Tipo	Frequência
Áreas erroneamente classificadas como urbanas	
Floresta	198
Clareira	62
Margem de rio	54
Pequenos assentamentos	44
Pasto	39
Cultura agrícola	23
Estabelecimento rural	23
Edificação rural	21
Pista de pouso	21
Afloramento rochoso	17
Solo exposto	13
Aldeia indígena	12
Estrada rural	12
Total	539
Áreas corretamente classificadas como urbanas	
Localidade	28
Perímetro urbano	20
Rodovia	5
Total	53

As classes de UCT reproduzidas nesta tabela partem da interpretação visual das imagens de alta resolução do repositório BING e imagens RapidEye, e não estão associadas à legenda dos dados TerraClass compatibilizados.

Fonte: Produção do autor.

A primeira refere-se às áreas urbanas onde foi constatado a presença de erros de comissão. Essas são áreas onde a descrição do polígono erroneamente classificado pode ser atribuída a alguma outra classe de UCT especificada pelo TerraClass integrado, como, por exemplo, Vegetação Natural Florestal, Vegetação Natural Secundária e Desmatamento. Os erros de comissão entre Área Urbana e essas classes parecem ocorrer devido à presença de clareiras, áreas desmatadas ou qualquer outra variação na cobertura da terra que possa induzir o analista a identificar o local como algum tipo de assentamento humano. Neste caso, a análise da presença ou ausência de dados de luzes noturnas estáveis poderia servir como um fator determinante na decisão de classificação. Deve-se ressaltar que, nestes casos, não foi identificada a presença de qualquer infraestrutura que pudesse ser associada à presença humana, como arruamento ou construções.

Na segunda categoria, existem os erros de mapeamento da classe urbana que poderiam ser considerados como vagos ou ambíguos, visto que a ocorrência deste erro pode não ser relacionada com a interpretação do analista, mas sim com o próprio método proposto para a definição de uma área urbana. Aqui destacam-se estabelecimentos sem fins residenciais, como estabelecimentos rurais dissociadas de núcleos populacionais e pistas isoladas destinadas ao trânsito de pequenas aeronaves. Embora sejam estruturas que poderiam ser consideradas como diferenciadas em relação às rurais, não servem à habitação ou ao adensamento populacional, mesmo que relacionadas à intervenção antrópica ao meio; além de serem dificilmente distinguíveis de núcleos populacionais a partir da resolução espacial do mapeamento adotada, pois podem dispor das mesmas estruturas elegidas como critérios urbanos, como arruamento planejado, áreas impermeabilizadas e construções.

Na terceira categoria estão as áreas sem a presença de luzes estáveis, mas corretamente qualificadas como áreas urbanas. Como descrito anteriormente, são áreas onde a classificação provavelmente se deve ao fato de estarem contíguas aos pequenos núcleos populacionais, onde há a presença de luz detectada, mas que não se distribui por toda a extensão da área construída. A ausência de dados de luzes noturnas nas áreas periféricas desses pequenos

núcleos populacionais, somada ao efeito *overflow* que contamina o entorno de áreas iluminadas, indicam que a infraestrutura de iluminação externa destes locais é pouco proeminente. Ainda assim, o dado de luz noturna não falha em detectar essas localizações, mas apenas em definir toda a sua extensão.

A presença de luzes noturnas estáveis se mostrou um bom indicador da distribuição de áreas urbanas. As áreas urbanas não detectadas pelas luzes foram atribuídas a erros de mapeamentos, casos omissos ou áreas que compõem o entorno de núcleos populacionais já detectados. No entanto, a proporção de luzes noturnas associadas à classe Área Urbana é relativamente pequena, o que faz com que este dado seja mais apropriado como uma variável de controle após o mapeamento, podendo resultar em uma redução dos erros de comissão resultantes do mapeamento desta classe. O restante das áreas urbanas não iluminadas não seria automaticamente convertido em erro de omissão, posto que a sua exclusão não resultaria na conversão para outra classe; mas sim na necessidade de revisão da área mapeada, o que levaria o analista a constatar que se trata de uma área periférica de um núcleo populacional.

Utilizar dados de luzes noturnas estáveis como uma variável de controle pós-mapeamento é uma opção viável, mas não apresenta grandes avanços na representação do território amazônico e dos padrões de distribuição da população. É comum que a definição de urbano e rural seja distinta em função do campo do conhecimento, dos agentes envolvidos nessa conceitualização e dos fins para os quais essas definições deverão atender (PINHO JUNIOR, HENNING e VIEIRA, 2019). No sensoriamento remoto, é comum encontrar trabalhos que optem por representar o urbano a partir de especificações mais próximas aos atributos físicos que possam ser observados ou mensurados por sensores orbitais, tais como a porcentagem de áreas impermeabilizadas e a proporção de áreas construídas em relação às áreas vegetadas (SCHNEIDER, FRIEDL e POTERE, 2010; WANG et al., 2017).

Já em campos como a geografia e a economia, o urbano pode ser definido de forma mais complexa, buscando representar as relações sociais resultantes da

produção de capital, acesso aos bens e serviços e a matriz socioeconômica predominante (SANTOS, 1993; ENDLICH, 2006). Neste sentido, entende-se que há pouco espaço para o consenso sobre o termo urbano e rural, mas que, atendo-se a uma perspectiva pragmática, a utilização de dados de luzes noturnas como um qualificador de núcleos populacionais pode encurtar as distâncias entre os conceitos propostos por diferentes campos do saber, posto que acesso à iluminação exterior configura um indicador da disponibilidade do acesso a serviços básicos de núcleos populacionais.

Na AML, praticamente todas as áreas mapeadas como urbanas estão associadas a dados de luzes noturnas. Também foram apresentadas evidências de que a presença antrópica é mais significativa nessas áreas iluminadas, e que algumas classes de UCT tendem a ser mais frequentemente associadas aos dados de luzes noturnas do que outras, fenômeno que não é simplesmente fruto da contaminação aleatória ou da presença de ruído. Entretanto, 89,87% dos *pixels* iluminados não estão diretamente associados às áreas urbanas.

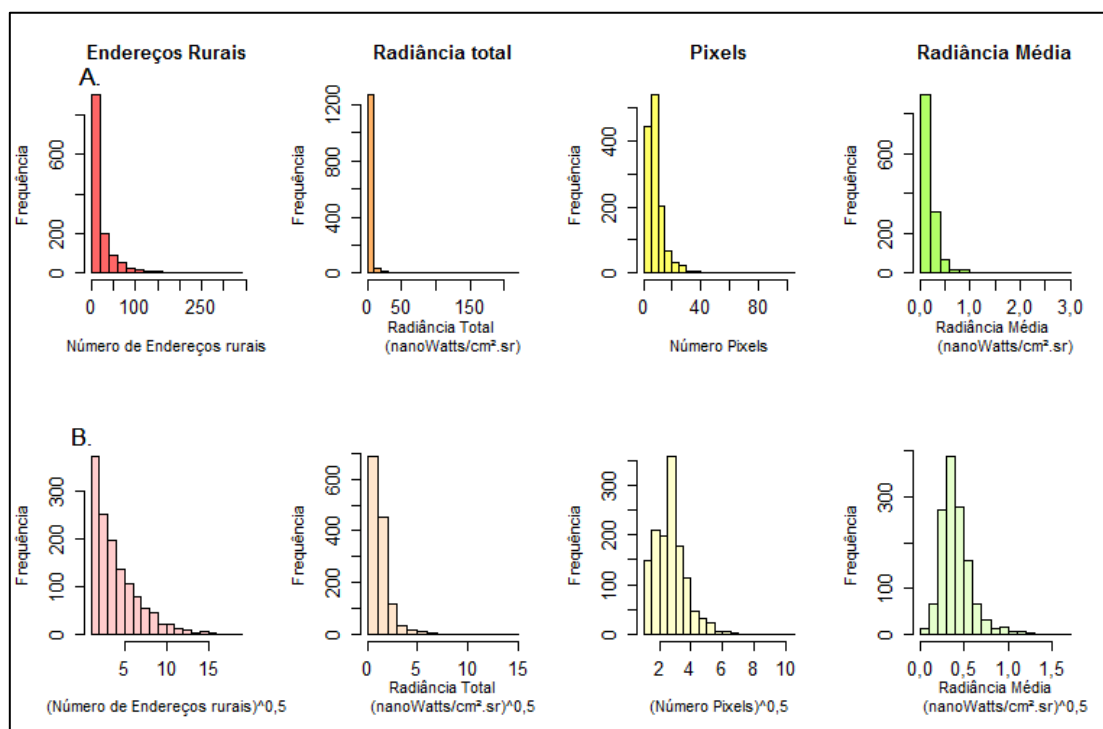
4.5. Áreas Estabelecidas e dados de luzes noturnas

Nesta seção, são analisadas as relações entre classes de UCT das áreas iluminadas localizadas em setores censitários rurais, métricas derivadas de dados de luzes noturnas e o número de endereços rurais inseridos em PLN's. Primeiramente, são investigadas as relações dessas variáveis através da investigação do gráfico de dispersão de cada variável resposta. Em seguida, as amostras foram separadas e analisadas em função dos seus contextos de UCT. Por fim, é apresentado o resultado da investigação de polígonos de luzes noturnas estáveis com características particulares e das relações que estas características mantêm com dados de uso e cobertura da terra e endereços rurais.

4.5.1. Análise de dispersão e correlação das variáveis derivadas de luzes noturnas estáveis e dados demográficos

Ao analisar a distribuição do número de endereços rurais dos PLN's remanescentes (1.320 PLN's), observou-se que as suas distribuições tinham característica assimétrica. Primeiramente, foi empregada uma transformação linear de radiciação de índice dois para preservar uma possível relação monotônica e diminuir a influência de *outliers* sobre a análise de correlação entre o número de endereços e as métricas derivadas de dados de luzes noturnas (Figura 4.9). Ainda assim foi observado uma distribuição heterogênea das amostras, o que justificou o emprego do método de Fisher-Jenks para a reamostragem das mesmas, descrito na seção 3.8.2.

Figura 4.9 – Histograma das variáveis derivadas de dados de luzes noturnas estáveis do sensor VIIRS/DNB e endereços por unidade de análise.



A. Variáveis originais; B. Variáveis transformadas pela raiz quadrada.

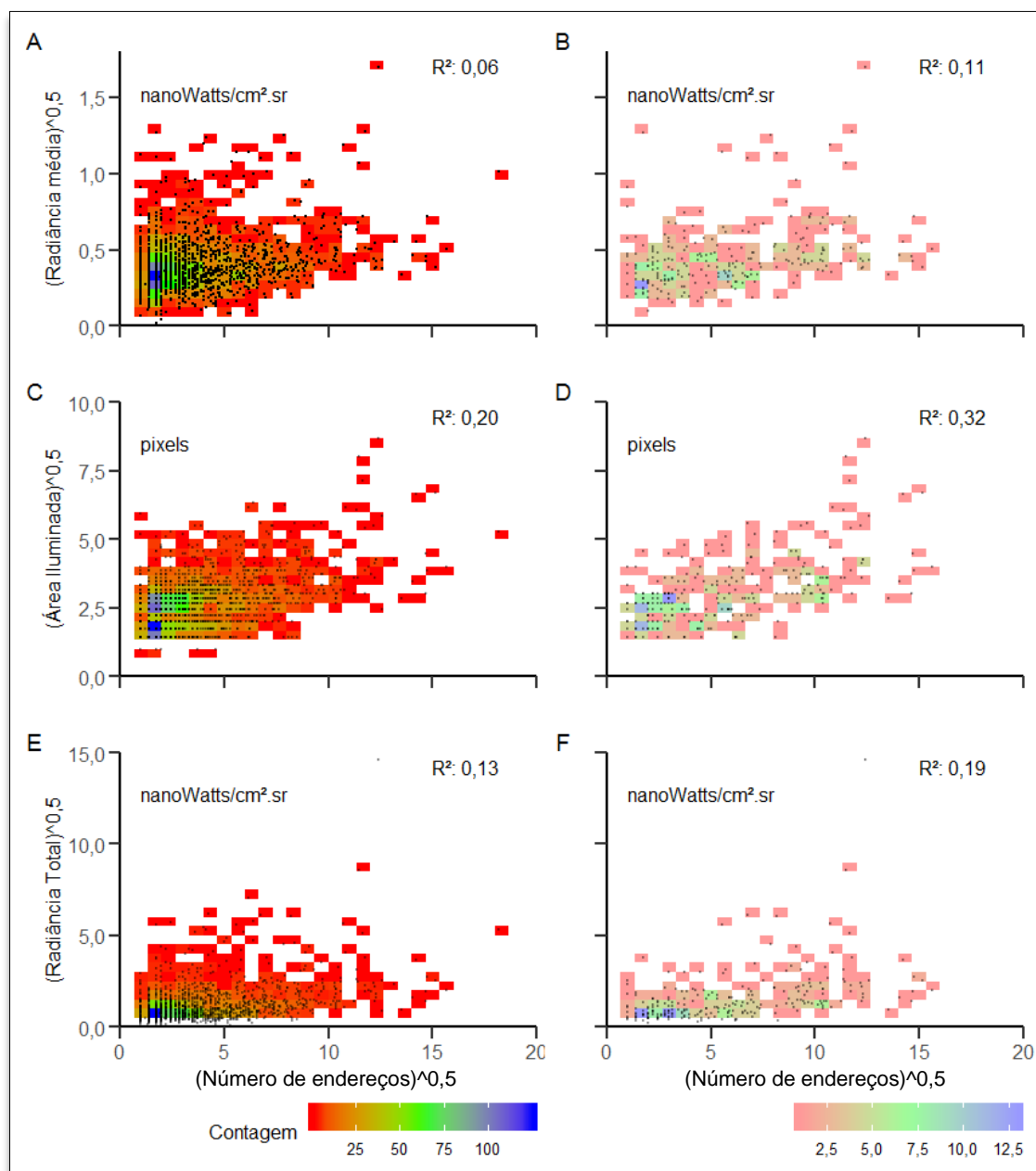
Fonte: Produção do autor.

Todas as variáveis derivadas de dados de luzes noturnas estáveis transformadas apresentaram coeficientes de correlação (R) significativamente diferentes de zero ($\alpha = 0,01$). A dispersão dos dados baseada em toda a amostra permite identificar uma concentração maior de polígonos com baixo número de endereços e baixos valores de variáveis derivadas de luzes noturnas (Figura 4.9 A, C e E). A comparação dos coeficientes de determinação (R^2) entre as dispersões das mesmas variáveis (e.g., Figura 4.9A e B) indica que o método de agrupamento proposto por Jenks (1967) como ferramenta para a definição dos estratos a serem amostrados é uma abordagem eficiente para melhor representar a amplitude de valores possíveis de determinada variável.

Embora a amostragem estratificada reduza o tamanho da amostra, deve-se considerar que a alta concentração dos valores das variáveis (ou alta assimetria de amostras correlacionadas) insere redundância nas informações dispostas e dificulta a interpretação dos resultados. A média aritmética (Figura 4.10A e B) apresentou dispersão vertical maior, quando comparada às outras variáveis. Se considerada a amostra original (Figura 4.10 A), os valores mais baixos do número de endereços parecem ser predominantemente dispersos próximos ao eixo das ordenadas, i. e., no eixo das variáveis dependentes.

No entanto, através da amostragem estratificada é possível observar a presença de pontos com médias aritméticas maiores do que a tendência geral da amostra por toda a amplitude da variável independente. Se pressuposta qualquer correlação entre os níveis de radiância de luzes noturnas e o número de endereços de um núcleo populacional, a ocorrência de valores desconexos da tendência geral da amostra pode ser um indicativo da existência de artefatos de iluminação exterior mais intensos do que o esperado para determinado número de endereços, ou mesmo núcleos populacionais com infraestrutura de iluminação externa mais proeminente. Sendo a média aritmética uma medida de tendência central particularmente sensível à presença de valores extremos (MEDHI, 1992, p. 58), foram selecionados empiricamente alguns dos polígonos com média aritmética elevada empiricamente para a aferição a partir das imagens de alta resolução do repositório BingMaps (Tabela 4.3).

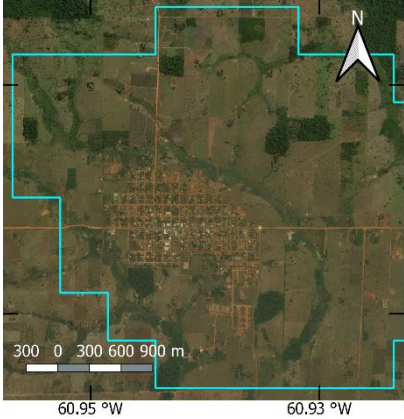
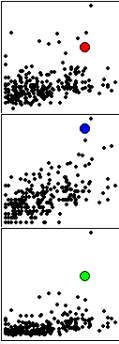

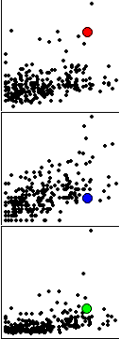
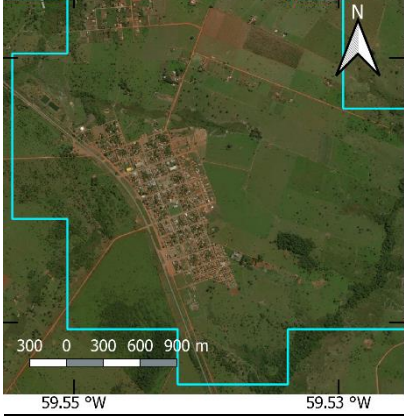
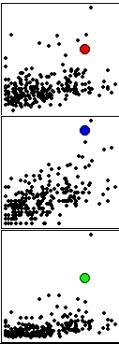
Figura 4.10 – Dispersão das amostras de variáveis derivadas de dados de luzes noturnas estáveis e do número de endereços rurais da Amazônia Legal Brasileira.



A, C e E: conjunto original de amostras do número de endereços rurais da AML. B, D e F: conjunto gerado a partir da amostragem estratificada com grupos definidos pelo método de Fisher-Jenks.

Fonte: Produção do autor.

Tabela 4.3 – Identificação e descrição dos polígonos de luzes noturnas estáveis contíguos com níveis médios de radiância elevados e dispersão das demais variáveis derivadas de dados de luzes noturnas.

Distribuição espacial do polígono de luzes estável (ciano) e coordenadas gráficas das variáveis radiância média (vermelho), número de pixels (azul) e radiância total (verde).	Descrição dos prováveis artefatos associados com a emissão de luzes noturnas estáveis.
	 <p data-bbox="842 645 1377 882">Área urbanizada do município de Corumbiara, Rondônia. O polígono de luzes estáveis contíguas sobrepõe tanto a área urbana quanto os setores rurais vizinhos, resultando na subestimativa do número de endereços. Evidencia uma falha no processo de amostragem.</p>
	 <p data-bbox="842 1037 1377 1335">Região de chácaras e sítios do município de Colniza, Mato Grosso, com infraestrutura agrícola proeminente, como barracões, lagoas para piscicultura ou tratamento de efluentes, pasto limpo e campo de futebol particular. Também foi observada a presença de um empreendimento madeireiro não identificado.</p>
	 <p data-bbox="842 1541 1377 1675">Área urbanizada do município Conquista do Oeste, Mato Grosso. Também evidencia uma falha no processo de amostragem.</p>

(Continua)

Tabela 4.3 – Continuação.

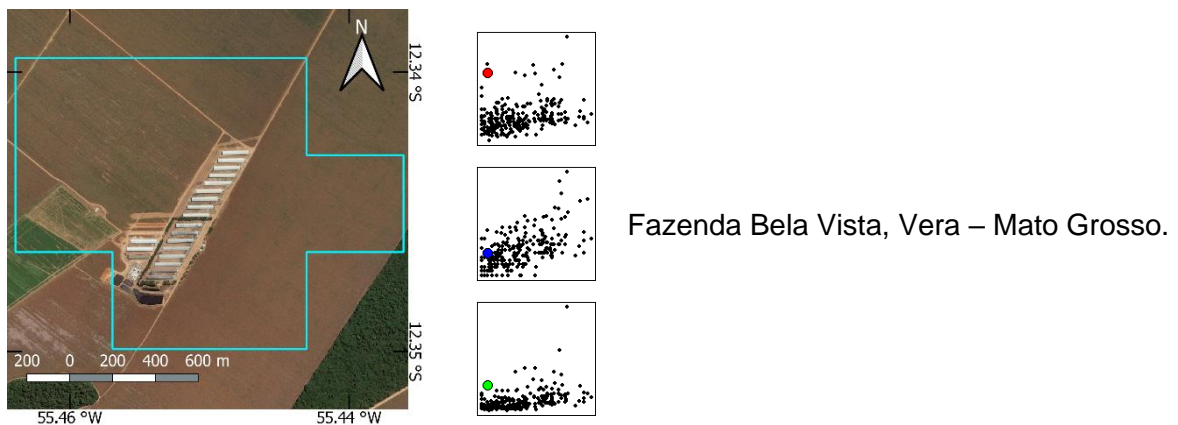
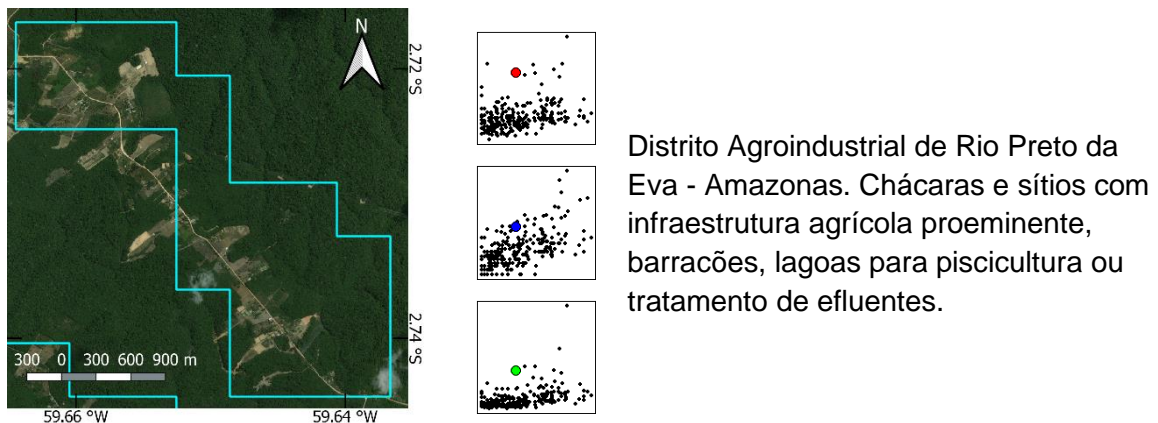
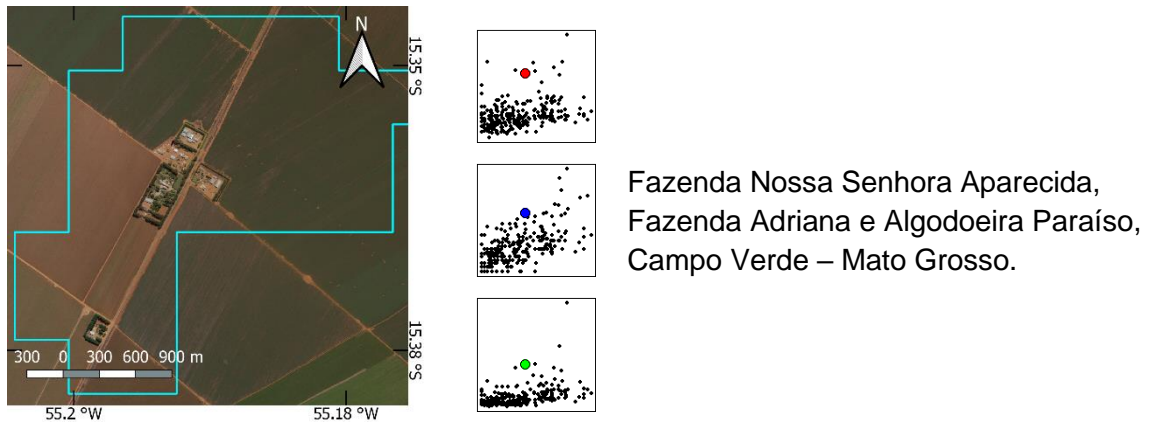
Distribuição espacial do polígono de luzes estável (ciano) e coordenadas gráficas das variáveis radiância média (vermelho), número de pixels (azul) e radiância total (verde).

		<p>Fazenda Ribeiro do Céu, Nova Mutum, Mato Grosso.</p>
		<p>Fazenda Tucunaré Amaggi, Sapezal, Mato Grosso.</p>
		<p>Barracão da Fazenda Agropecuária Mafra e endereços domiciliares associados ao empreendimento, Nova Mutum, Mato Grosso.</p>

(Continua)

Tabela 4.3 – Conclusão.

Distribuição espacial do polígono de luzes estável (ciano) e coordenadas gráficas das variáveis radiância média (vermelho), número de pixels (azul) e radiância total (verde).	Descrição dos prováveis artefatos associados à emissão de luzes noturnas estáveis.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------



Fonte: Imagens do repositório BingMaps (2019).

Os exemplos anteriores mostram que os valores de radiância média que se destacam da dispersão podem ser encontrados em, ao menos, três configurações principais: (i) áreas urbanas incluídas nas análises devido aos erros decorrentes do critério de amostragem dos polígonos contíguos de luzes noturnas estáveis adotado; (ii) núcleos populacionais dispersos (como chácaras e sítios) associados a diversos empreendimentos, frequentemente agropecuários, como madeiras, fazendas, matadouros e afins; (iii) os mesmos tipos de empreendimentos citados, porém isolados ou associados a domicílios próprios.

A primeira configuração resulta da distância de borda adotada durante o processo para a identificação de polígonos de luzes noturnas que intersectam os setores rurais (Seção 3.6.2). O tamanho diminuto do perímetro urbano dessas localidades associado a uma maior densidade de endereços rurais próximos, resultaram em um polígono de luz estável extenso que perfaz ambos setores. Desse modo, a distância da borda adotada para que a intersecção entre os setores amostrados e os polígonos contíguos de luzes fosse identificada não excluiu estes polígonos da amostragem. Estes polígonos têm a área iluminada mais desconexa da tendência geral das amostras do que a radiância média e radiância total, posto suas respectivas grandezas, de modo que se localizam, nos três gráficos de dispersão, próximos ao quadrante direito superior. É possível que, nestes casos, a correta contabilização do número de endereços levaria a uma melhor aderência do ponto à tendência geral das amostras.

A segunda e a terceira configuração não manifestam a relação entre a dispersão das diferentes variáveis de forma clara. Ainda que seja possível justificar individualmente o comportamento de cada variável em cada um dos casos observados, o indício de algum padrão das relações entre as variáveis é pouco evidente. Em alguns casos, a área iluminada acompanha a flutuação das demais variáveis e, em outros, se mantém mais próxima da tendência geral do gráfico de dispersão. O único padrão que pode ser observado, empiricamente, em todos os casos, é o comportamento similar da radiância total em relação à radiância média. A sensibilidade da radiância total aos valores extremos é inversamente proporcional ao número de pixels iluminados. Neste caso, tratando-se de

pequenas áreas, é compreensível que a radiância total e radiância média tenham comportamento parecido. Isto posto, optou-se por prosseguir as análises subsequentes focadas na relação entre área iluminada e número de endereços rurais.

A relação entre variáveis demográficas e área total iluminada foi explorada anteriormente em diversos contextos, mas em configurações distintas deste experimento. Utilizando os dados do sensor DMSP/OLS, Amaral et al. (2005) encontraram coeficientes de determinação superiores a 0,6 para as áreas urbanas e vilas no estado do Pará. Coeficientes de determinação maiores (> 0,8) também puderam ser observados, quando considerada apenas a população urbana dos municípios da AML (AMARAL et al., 2006). Outros trabalhos em regiões distintas também investigaram as relações entre área iluminada e dados demográficos (ELVIDGE et al., 1997; IMHOFF et al., 1997; LO, 2001; SUTTON et al., 2001), mas a preferência por esta variável é atribuída às limitações do sensor DMSP/OLS devido à ausência de intercalibração dos níveis de número digital do sensor. Ainda que as características específicas das municipalidades possam afetar a relação entre variáveis demográficas e dados derivados de luzes noturnas, como a presença de empreendimentos minerários, conurbação das áreas urbanas e capitais estaduais, alguns trabalhos mostram que essas particularidades podem ser identificadas, excluídas ou tratadas com alguma facilidade em escalas menores (AMARAL et al., 2005, 2006; BRAGION, MONTEIRO e AMARAL, 2019).

Após a disponibilização dos dados VIIRS/DNB e do desenvolvimento de métodos de intercalibração dos dados do sensor DMSP/OLS, o número de trabalhos que se valem de variáveis derivadas dos níveis de radiância ou números digitais desses sensores como indicadores mais promissores para compor modelos demográficos e socioeconômicos cresceu, predominantemente associados a áreas urbanas, em escalas municipais, regionais ou nacionais (ZHANG, SCHAFF e SETO, 2013; MA et al., 2014; JING et al., 2016; LEVIN e ZHANG, 2017). Entretanto, a utilização da área iluminada como indicador de variáveis demográficas em áreas rurais pode ser mais apropriada justamente por ser menos impactada pela presença de fontes noturnas de iluminação exterior

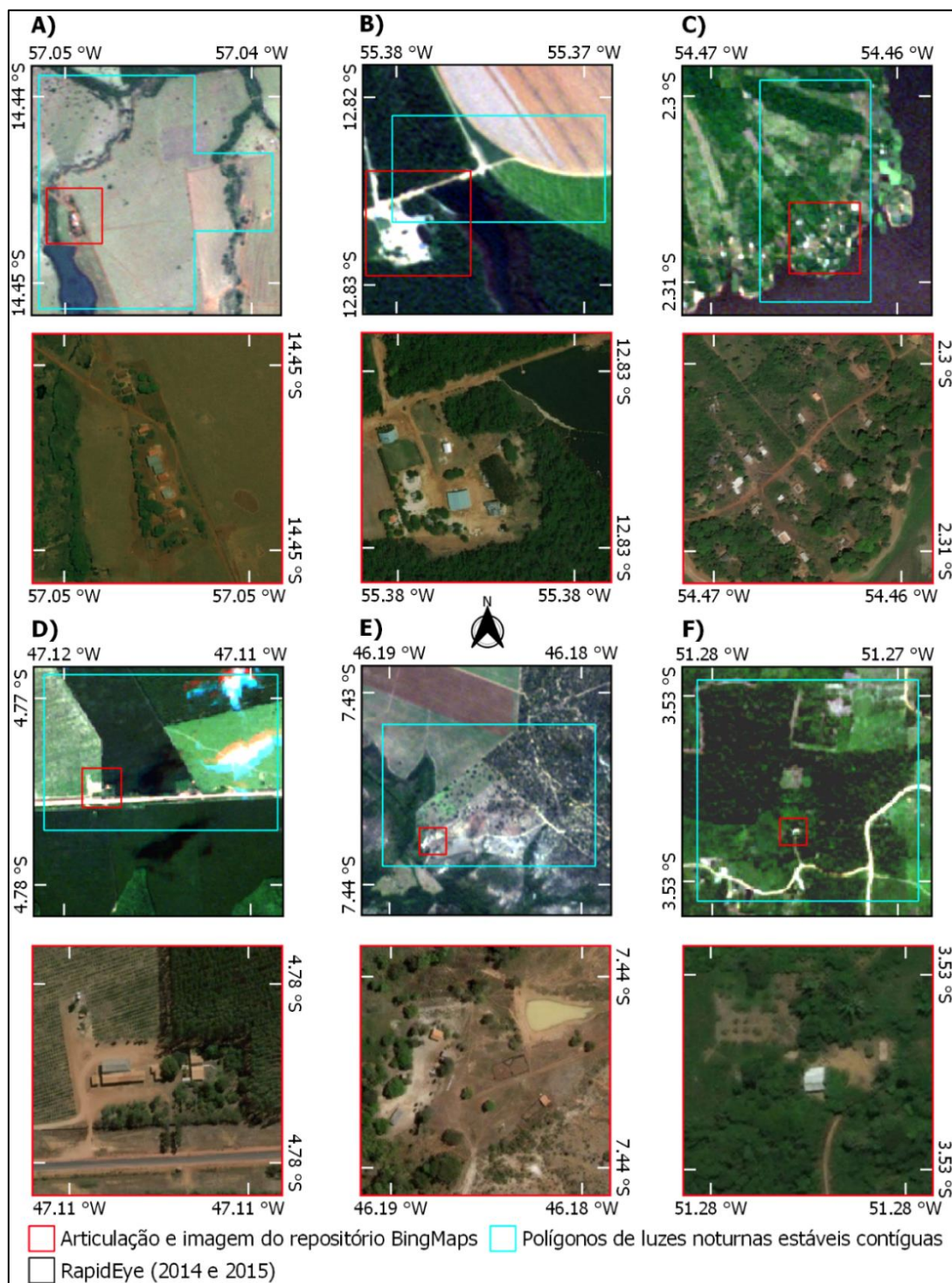
intensas que não são atribuídas à distribuição espacial de núcleos populacionais. Nos setores rurais da AML, os polígonos contíguos de luzes noturnas estáveis são predominantemente pequenos (moda = 2 pixels, aprox. 43,24 ha), de modo que as especificidades dessas áreas têm maior impacto na resposta dos níveis de radiância noturnos detectados. Neste caso, a correlação entre a área iluminada e o número de endereços dessas localidades é maior devido a capacidade da variável em generalizar ou suavizar essas particularidades, quando comparada a variáveis mais sensíveis a níveis elevados de radiância.

4.5.2. Relações entre o número de endereços rurais, área iluminada e contextos de uso e cobertura da terra

Nas seções anteriores foram abordadas as diferentes relações entre variáveis derivadas de dados de luzes noturnas estáveis e endereços rurais, suas particularidades e como elas podem ser sensíveis aos diferentes alvos emissores de luzes durante a noite. Ainda na seção 4.2, foi observado que certas classes de UCT são mais ou menos expressivas em áreas iluminadas, quando comparadas ao panorama dessas mesmas classes em todo o território da AML. Esta seção tem o objetivo de concatenar estas observações através da análise das correlações e das particularidades supracitadas. As correlações se restringem à análise da área iluminada em função do total de endereços rurais, enquanto as particularidades são expressas sob a ótica dos contextos de UCT desses polígonos, pela qual buscou-se representá-las (as particularidades) através de respectivos contextos de UCT.

Por meio da verificação dos polígonos que não estavam associados a endereços rurais, foi constatado que todos os polígonos reamostrados dispunham de algum tipo de instalação, núcleo populacional ou área edificada passível de endereçamento. O mesmo foi observado nas áreas onde não haviam quaisquer classes de UCT relacionadas às Áreas Estabelecidas, i. e., Áreas Urbanizadas e/ou Mosaico de Ocupações. A Figura 4.11 ilustra algumas das áreas detectadas pela composição de luzes estáveis que poderiam ser consideradas como Áreas Estabelecidas, mas que não foram classificadas como Áreas Urbanizadas ou Mosaico de Ocupações pelo projeto TerraClass.

Figura 4.11 – Polígonos de luzes noturnas em Áreas estabelecidas de diferentes contextos nos quais não foram mapeados Mosaico de Ocupações ou Áreas Urbanizadas pelo projeto TerraClass.



A. Contexto Pecuário; B. Contexto Agrícola; C. Contexto Ribeirinho; D. Contexto Silvicultural; E. Contexto Não Florestal; F. Contexto Florestal.

Fonte: Adaptado de MICROSOFT (2019) e BRASIL (2019).

Em alguns casos, como Áreas Estabelecidas em Contexto Ribeirinho e Áreas Estabelecidas em Contexto Agrícola, a contextualização foi capaz de expressar alguns padrões básicos de UCT, como a presença de núcleos populacionais pequenos e empreendimentos de natureza agropecuária, respectivamente. Já em outros casos, como Áreas Estabelecidas em Contexto Florestal e Áreas Estabelecidas em Contexto Pastoril, a investigação dos polígonos indicou que há uma diversidade maior de padrões de UCT que não puderam ser expressos exclusivamente pela identificação da matriz na qual as Áreas Estabelecidas estão inseridas.

Áreas Estabelecidas em Contexto Florestal são associadas não apenas a núcleos populacionais rurais, mas também às sedes de empreendimentos, fazendas e áreas de alto padrão que mantêm a cobertura florestal em sua circunvizinhança. Padrões similares também puderam ser observados nas Áreas Estabelecidas em Contexto Pastoril, porém com disposições de classes de UCT diferente em suas circunvizinhanças. Nestas áreas, alguns núcleos populacionais pequenos não apresentaram uma contiguidade imediata às áreas florestais. No entanto, uma inspeção mais ampla da paisagem permite identificar que se tratavam de áreas isoladas inseridas em arranjos florestais.

A ausência de endereços rurais nessas áreas pode ser atribuída, principalmente, ao limiar de proporção de subestimativa adotado para a amostragem dos setores censitários rurais (15%). A proporção de polígonos sem endereços rurais registrados em relação ao número total de polígonos é de 25,9% (547 de 2.111). Deve-se atentar ao fato de que o limiar foi estabelecido visando a amostragem dos setores censitários com mais de 85% das coordenadas registradas, o que não garante que os PLN's manteriam tal proporção de subestimativa.

A diferença entre a proporção de subestimativa de endereços rurais admitida para a amostragem dos setores (15%) e a proporção de PLN's sem endereços registrados (25,9%) indica que há uma concentração de PLN's em setores com maior subestimativa de endereços em relação às coordenadas registradas. Teoricamente, setores censitários rurais com maiores proporções de subestimativas são aqueles que dispõem de alguma infraestrutura urbanizada

básica associada aos seus núcleos populacionais, como logradouro, quadra e número, mesmo que inseridos em áreas rurais. Essa infraestrutura deve permitir a geocodificação de forma clara, critério este que fundamenta a decisão de um agente censitário de coletar ou não a coordenada de um endereço (IBGE, 2019). Portanto, é plausível que haja uma maior concentração de polígonos de luzes estáveis justamente nestes setores, inflando a proporção de subestimativa da amostra em relação a admitida para os setores. A Tabela 4.4 apresenta a distribuição das frequências dos polígonos em diferentes contextos de UCT.

Tabela 4.4 – Distribuição de frequências dos polígonos de luzes noturnas estáveis em relação ao seu contexto de uso e cobertura da terra.

Classe	Polígonos sem endereços		Polígonos com endereços	
	Freq.	Prop.	Freq.	Prop.
Pastagem	135	24,68%	373	28,26%
Floresta	127	23,22%	192	14,55%
Área Estabelecida em Contexto Florestal	99	18,10%	233	17,65%
Área Estabelecida em Contexto Pastoril	52	9,51%	187	14,17%
Não Floresta	43	7,86%	113	8,56%
Silvicultura	30	5,48%	66	5,00%
Água	25	4,57%	52	3,94%
Agricultura	19	3,47%	33	2,50%
Área Estabelecida em Contexto Ribeirinho	11	2,01%	54	4,09%
Área Estabelecida em Contexto Não Florestal	4	0,73%	10	0,76%
Área Estabelecida em Contexto Silvicultural	2	0,37%	7	0,53%
Total	547	100%	1.320	100%

Freq: frequência de PLN com mais de 80% da área mapeada; Prop.: proporção relativa ao total de polígonos de luzes noturnas estáveis contíguas com mais de 80% da área mapeada.

Fonte: Produção do autor.

Todos os polígonos amostrados estão associados a algum tipo de Área Estabelecida, sejam pequenos assentamentos, vilas ou edificações e empreendimento rurais. A ausência de Áreas Estabelecidas pode ser atribuída a erros de omissão do projeto TerraClass ou à limitação da resolução espacial adotada para o mapeamento dessas áreas. Cabe ressaltar que, nesta avaliação,

a classe Área Urbanizada não foi diferenciada da classe Mosaicos de Ocupações, de modo que as observações relacionadas à conceitualização do urbano e rural na AML propostas anteriormente não interferiram na avaliação da presença de Áreas Estabelecidas não mapeadas pelo TerraClass integrado. A análise da distribuição de frequências dos PLN's contextualizados (indiferente da presença de endereços georreferenciados), permite apontar contextos de UCT cujas áreas ocupadas foram mais frequentemente omitidas pelo TerraClass (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Distribuição de frequências dos polígonos de luzes noturnas estáveis em relação ao seu contexto de uso e cobertura da terra de áreas estabelecidas não mapeadas pelo TerraClass.

Áreas Estabelecidas mapeadas			Áreas Estabelecidas não mapeadas			Smd.
Classe	Freq.	Prop.	Classe	Freq.	Prop.	
Áreas Estabelecida em Contexto Florestal	332	50,38%	Floresta	319	26,83%	98,00%
Área Estabelecida em Contexto Pastoril	239	36,27%	Pastagem	508	42,72%	63,99%
Área Estabelecida em Contexto Não Florestal	14	2,12%	Não Floresta	156	13,12%	16,47%
Área Estabelecida em Contexto Silvicultural	9	1,37%	Silvicultura	96	8,07%	17,14%
Área Estabelecida em Contexto Ribeiro	65	9,86%	Água	58	4,88%	94,31%
Área Estabelecida em Contexto Agrícola	0	0,00%	Agricultura	52	4,37%	0,00%
Total	659	100%	Total	1.189	100%	

Freq.: frequência de polígonos de luzes noturnas estáveis contíguas com mais de 80% da área mapeada; Prop.: proporção relativa ao total de polígonos de luzes noturnas estáveis contíguas com mais de 80% da área mapeada; Smd.: Similaridade.

Fonte: Produção dos Autor.

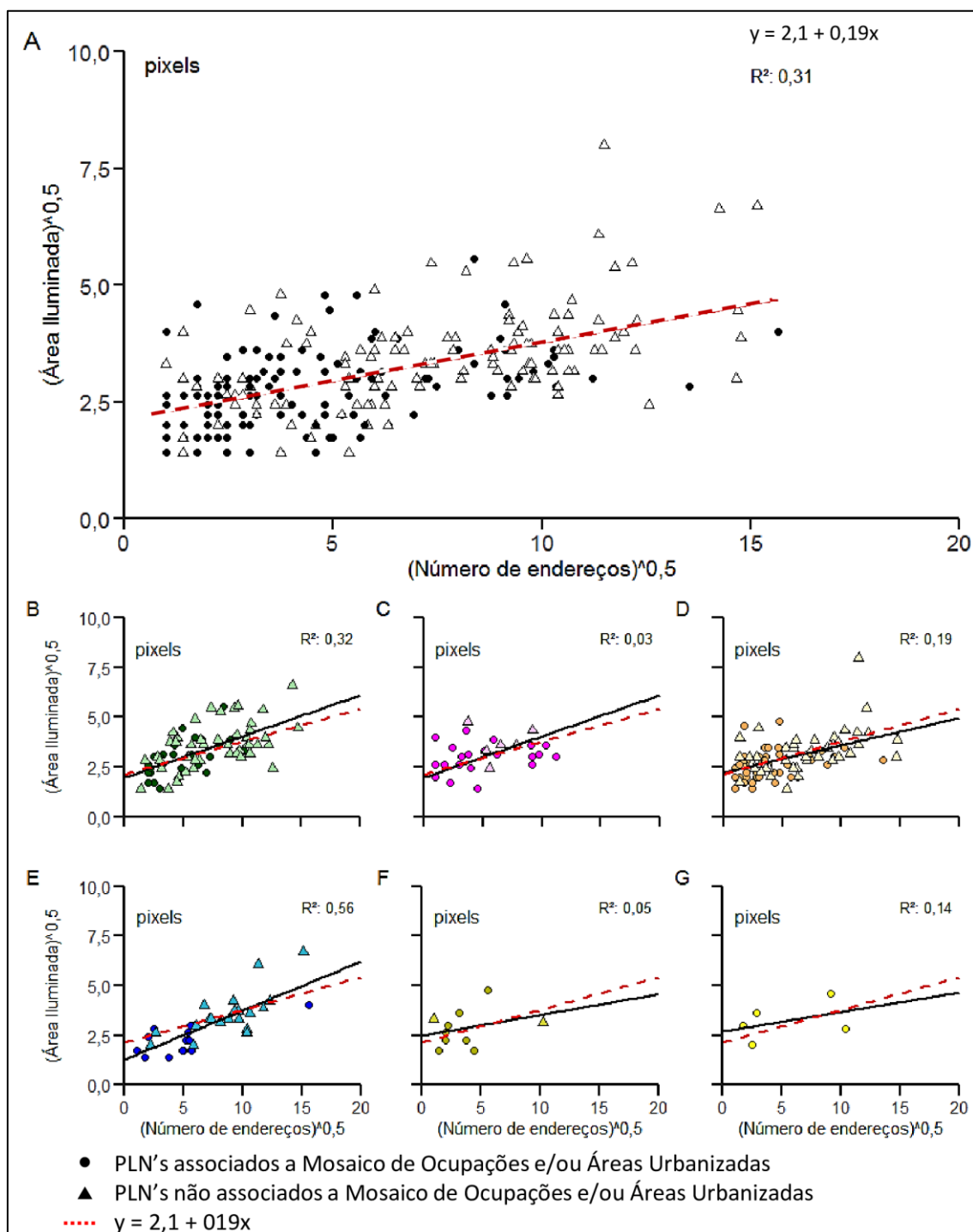
A proporção de polígonos nos quais não foram mapeadas Áreas Estabelecidas (1.189 de 1.848 - 64,34%) é maior que a proporção de polígonos nos quais

ocorrem mosaicos de ocupações ou áreas urbanizadas (659 de 1.848 - 35,66%). PLN's em contexto florestal e áreas ribeiras compõem as únicas classes cujo número de Áreas Estabelecidas mapeadas supera o número de Áreas Estabelecidas não mapeadas. Entretanto, suas similaridades ultrapassam a ordem de 90% (98% para Áreas Estabelecidas em Contexto Florestal e 94,31% para Áreas Estabelecidas em Contexto Ribeirinho). Já as classes cujo número de polígonos sem Áreas Estabelecidas mapeadas supera o número de polígonos com essas áreas mapeadas apresentam um menor grau de similaridade entre suas frequências, sendo 63,99% para áreas ocupadas em contexto pastoril e menos que 20% para os demais contextos.

A baixa similaridade entre as frequências sugere que Áreas Estabelecidas em setores rurais são frequentemente omitidas pelo TerraClass integrado. Embora a omissão dessas áreas possa estar relacionada com qualquer uma das etapas do processo de mapeamento, as possíveis causas convergem para a questão da resolução espacial adotada para o mapeamento. Na detecção de padrões espectrais sazonais, pixels relativos a pequenos núcleos populacionais, edificações rurais e instalações agropecuárias podem ser contaminados pela radiação eletromagnética refletida e emitida por áreas adjacentes, uma vez que os níveis de radiância de pixels adjacentes não são espacialmente independentes (SLATER, 1980). Neste caso, o processo de segmentação subsequente, que busca identificar pixels contíguos com níveis de cinzas similares, também seria afetado, resultando em um produto que, mesmo através de interpretação visual, dificilmente permitiria a identificação dessas áreas.

No entanto, caso a presença de pequenas Áreas Estabelecidas em meio à paisagem fosse o único agente responsável pelos baixos níveis de similaridade apresentados na Tabela (4.5), a diferença entre os níveis seria menos discrepante em função dos diferentes contextos de UCT, sugerindo que o contexto de uma Área Estabelecida tem relação com a frequência de omissão dessas áreas. Foram analisadas as correlações entre o número de endereços rurais e a área iluminada em polígonos com Áreas Estabelecidas mapeadas e polígonos sem a presença de Áreas Estabelecidas mapeadas (Figura 4.12).

Figura 4.12 - Dispersão das amostras de variáveis derivadas de dados de luzes noturnas estáveis e do número de endereços rurais da Amazônia Legal Brasileira em função dos contextos de uso e cobertura da terra.



A. Amostra completa; B. Contexto Florestal; C. Contexto Não Florestal; D. Contexto Pecuário; E. Contexto Ribeirinho; F. Contexto Silvicultural; G. Contexto Agrícola.

Fonte: Produção do autor.

Em alguns contextos observados, PLN's nos quais não foram mapeadas Áreas Estabelecidas, representados por círculos, parecem se agrupar no quadrante esquerdo inferior, o que suscita a hipótese de que núcleos populacionais e Áreas Estabelecidas com menos endereços e com menor área iluminada são as mais frequentemente omitidas pelo TerraClass (Figura 4.12C, F e E). Essa distinção das regiões gráficas onde os pontos tendem a ocorrer torna-se menos clara à medida que o número de amostras aumenta, como nas dispersões das Áreas Estabelecidas Contextos Florestal ou Pastoril. Isto indica que o suposto agrupamento pode também ser resultado da baixa similaridade entre a frequência de Áreas Estabelecidas mapeadas e das áreas onde não foram mapeadas Áreas Estabelecidas, de modo que se as duas classes tivessem probabilidades similares de ocorrência, não haveriam indícios de agrupamento das amostras, como na Figura 4.12A e B.

A análise dos coeficientes de determinação das amostras inseridas em diferentes contextos de UCT concordam com as considerações propostas através da investigação das imagens de alta resoluções feitas anteriormente. Áreas Estabelecidas em núcleos populacionais ribeirinhos tiveram um acréscimo nos seus coeficientes de determinação, sendo que estas são as áreas onde mais foram identificados núcleos populacionais. Nas Áreas em Contexto Florestal, onde foram identificados tanto núcleos populacionais quanto outros tipos de ocupações sem a finalidade residencial, o coeficiente de determinação se manteve similar ao de toda a amostra. Já nas áreas ocupadas em contexto pastoril, o coeficiente de determinação decresceu, sendo que estes polígonos foram os que apresentaram a maior diversidade de padrões de UCT observados. Os coeficientes de determinação das áreas em contextos silviculturais e agrícolas não foram considerados válidos devido ao tamanho reduzido de suas amostras.

Os resultados apresentados sugerem que, a partir da especificação de padrões de UCT é possível identificar maiores graus de correlação entre o número de endereços e a área total iluminada. O acréscimo nos coeficientes de determinação observado em alguns contextos de UCT pôde ser atribuído ao tipo de ocupação representada pelo contexto de UCT, como é o caso das Áreas

Estabelecidas em contextos Ribeirinhos e algumas das Áreas Estabelecidas em Contexto Florestal. Embora os contextos das áreas ribeirinhas e agrícolas tenham sido consistentes com as premissas conceituais propostas para os padrões de UCT, a interpretação visual das imagens de alta resolução também permitiu observar que outros contextos não puderam ser expressos de forma satisfatória através do método adotado.

Em contrapartida, padrões de UCT e áreas estabelecidas, que foram expressos de forma satisfatória pelo método proposto, apresentaram maior correlação entre o número de endereços rurais e a área iluminada, um indicativo de que outros métodos de identificação de padrões de UCT melhor adaptados às configurações regionais da AML poderiam representar relações que não foram identificadas por este trabalho. Mais além, o decréscimo da correlação em contextos que não foram corretamente expressos pelo método proposto reforça as evidências de que os padrões de iluminação das áreas estabelecidas na AML podem servir à caracterização dessas áreas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se propôs a identificar as relações entre padrões de uso e cobertura da terra e variáveis derivadas de dados de luzes noturnas estáveis no contexto da AML. A abordagem utilizada permitiu qualificar os dados de luzes noturnas estáveis como um indicador confiável da presença de áreas estabelecidas na região. Além da identificação de estabelecimentos e residências que não foram identificados por outros produtos de mapeamento das áreas desmatadas da AML, os dados de luzes noturnas estáveis também puderam ser correlacionados com alguns dos padrões de UCT associados a presença de núcleos predominantemente residenciais.

Áreas consideradas urbanizadas, do ponto de vista do sensoriamento remoto, puderam ser identificadas em sua totalidade, sendo que as omissões por parte dos dados de luzes noturnas estáveis foram atribuídas as áreas perimetrais de núcleos populacionais pequenos, de modo que a sua identificação não foi considerada comprometida.

Nas áreas rurais, determinadas classes de UCT resultantes de processos antrópicos tendem a ser mais frequentemente associadas com as áreas iluminadas, enquanto áreas naturais são menos expressivas, processo atribuído à antropização dessas áreas. Uma vez constatada a expressividade de determinadas classes de UCT relacionadas ao assentamento humano, propôs-se um método para contextualização dessas áreas iluminadas. Este método se mostrou satisfatório para a qualificação de núcleos populacionais ribeirinhos e áreas predominantemente ocupadas por estabelecimentos rurais isolados, mas falha na caracterização de todo o gradiente entre estas extremidades.

Enquanto a área iluminada foi avaliada como uma variável com maior grau de correlação com o número de endereços rurais em áreas ocupadas na AML, outras variáveis derivadas dos níveis de radiância se mostraram mais sensíveis a valores extremos. Dessa forma, foi possível a identificação de áreas nas quais a iluminação é mais intensa do que outras, mesmo quando as suas respectivas extensões e número de endereços rurais são semelhantes, evidenciando que a

proeminência do serviço de iluminação exterior não responde de forma direta à demanda populacional.

A interpretação visual de PLN's permitiu a identificação de alvos associados ao assentamento humano, mesmo quando estes PLN's não estavam relacionados com qualquer endereço rural ou áreas mapeadas como urbanizadas e/ou mosaico de ocupações. Nestes casos, o dado de luz noturna é suficiente para inferir a ocorrência de uma área estabelecida. A associação de dados de luzes noturnas com outras bases de informações, como as abordadas neste trabalho, traz segurança para a detecção de assentamentos humanos, mas ainda há a necessidade de análises exaustivas que contemplam a investigação das áreas não iluminadas para a possível detecção de erros de omissão fora do contexto urbano.

Neste trabalho, foi proposto uma abordagem generalizada sobre as características dos assentamentos humanos na AML, que foi capaz de identificar, em partes, padrões de UCT associados aos dados de luzes noturnas estáveis. Ainda existe uma gama de variáveis não restritas à questão do espaço que poderiam ser incorporadas ao método proposto para melhor representar os padrões de assentamentos humanos na AML, principalmente as variáveis de natureza socioeconômica. No entanto, estes dados não estão disponíveis na escala e dimensão das análises propostas ou são de alto custo de obtenção. Sendo assim, três principais abordagens podem ser conjecturadas como fundamentais para melhor representar as áreas estabelecidas na AML e compreender com maior profundidade o papel da infraestrutura de iluminação na caracterização da população e do seu espaço: (i) técnicas de microssimulação capazes de estimar variáveis de interesse em escalas maiores a partir de variáveis em escalas menores; (ii) a análise dos padrões temporais associados com os padrões de mudanças de uso e cobertura da terra e das luzes noturnas estáveis, como forma de reconhecer o espaço e o seu ambiente como agentes mutáveis, cuja caracterização depende do entendimento de um processo e não de um objeto estático; (iii) técnicas melhores elaboradas que a proposta por este trabalho para o reconhecimento de padrões de UCT aplicadas a contextos mais específicos do que toda a extensão da AML.

O monitoramento do território amazônico requer atenção às suas particularidades, que puderam ser parcialmente expressas pelas diferentes relações identificadas entre as variáveis derivadas de dados de luzes noturnas e as áreas estabelecidas em contextos de ocupação distintos. Mesmo em escalas tão específicas quanto as propostas, correlações significativas ainda puderam ser encontradas entre o número de estabelecimentos rurais e dados de luzes noturnas. A limitação das correlações observadas nos contextos que falharam em evidenciar os padrões de ocupação da AML indica que o potencial dos dados de luzes noturnas não está na predição ou modelagem de outras variáveis, mas sim na sua capacidade de qualificar a presença de infraestrutura de iluminação exterior, em diversos graus, aspecto básico da caracterização do urbano, mas também presente no rural. Portanto, a sua utilização como ferramenta de monitoramento do território amazônico se distancia da dicotomia clássica rural-urbano e vai de encontro ao emergente paradigma urbano proposto para a Amazônia, que busca descrever esse fenômeno como um *continuum* vinculado ao rural, que catalisa as mudanças e os fluxos do território amazônico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C. A.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. DALLA M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C. G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A. R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 3, p. 291–302, 2016.
- AMARAL, S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; QUINTANILHA, J. A.; ELVIDGE, C. D. Estimating population and energy consumption in Brazilian Amazonia using DMSP night-time satellite data. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 29, n. 2, p. 179–195, 2005.
- AMARAL, S.; DAL’ASTA, A. P.; BRIGATTI, N.; PINHO, C. M. D.; MEDEIROS, L. C. DE C.; ANDRADE, P. R. DE; PINHEIRO, T. F.; ALVES, P. A.; ESCADA, M. I. S.; MONTEIRO, A. M. V. Comunidades ribeirinhas como forma socioespacial de expressão urbana na Amazônia: uma tipologia para a região do Baixo Tapajós (Pará-Brasil). **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 30, n. 2, p. 367–399, dez. 2013.
- AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V.; CAMARA, G.; QUINTANILHA, J. A. DMSP/OLS night-time light imagery for urban population estimates in the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 5, p. 855–870, 2006.
- ANDRADE, M. C. **A questão do território no Brasil**. 2. ed. São Paulo - SP: Hucitec, 2004. 135 p. ISBN(8570602332).
- BARROS, M. N. R.; PINHEIRO, A. F.; MORAIS, V. M. C.; SANTOS, L. B.; COELHO, A. S.; SADECK, L. W. R.; ADAMI, M.; GOMES, A. R.; NARVAES, I. S. Validation of TerraClass mapping for the Municipality of Paragominas state of Pará. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 5, n. 7, p. 326–334, 2018.

BECKER, B. K. Undoing myths: The Amazon – an urbanized forest. In: CLÜSENER-GODT, M.; SACHS, I. (Org.). **Brazilian perspectives on sustainable development of the Amazon region**. Paris: UNESCO, 1995. p. 53-90.

BECKER, B. K. Modelos e cenários para a Amazônia: o papel da ciência. revisão das políticas de ocupação da Amazônia : é possível identificar modelos para projetar cenários ? **Parcerias Estratégicas**, 2001.

BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. conferência do mês do Instituto de Estudos Avançados da USP proferida pela autora em 27 de abril de. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 71–86, 2005.

BECKER, B. K. Articulando o complexo urbano e o complexo verde na Amazônia. In: CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Um projeto para a Amazônia no século 21: desafios e contribuições**. Brasília,DF: CGEE, 2009a. p. 426.

BECKER, B. K. **Amazônia: geopolítica na virada do III milênio**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009b. 172 p.

BECKER, B. K. **A urbe amazônica**. Rio de Janeiro: Garamond Universitaria, 2013. 83 p. ISBN(9788576172963).

BENNETT, M. M.; SMITH, L. C. Advances in using multitemporal night-time lights satellite imagery to detect, estimate, and monitor socioeconomic dynamics. **Remote Sensing of Environment**, v. 192, p. 176–197, 2017.

BHADURI, B.; BRIGHT, E.; COLEMAN, P.; URBAN, M. L. LandScan USA: a high-resolution geospatial and temporal modeling approach for population distribution and dynamics. **GeoJournal**, v. 69, n. 1–2, p. 103–117, 2007.

BRAGION, R.; MONTEIRO, A. M. V.; AMARAL, S. Exploring Viirs-Npp Night-Time Light Data in the Amazon Rainforest. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos, SP. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2019. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/marte2/2019/10.31.12.13>>.

BRASIL. CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Lei nº 5.173, de 27 de outubro de 1966**: dispõe sobre o Plano de valorização econômica da Amazônia; extingue a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) e dá outras providências. Brasília: Diário da União, 1966.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mosaico: mapeamento da cobertura vegetal dos biomas brasileiros**. 2006. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm?/amazonia/dados/shape_file/mosaicos/index.html>.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mapeamento do uso e cobertura da terra do cerrado: projeto terraclas Cerrado 2013**. Brasília, DF: MMA, 2015. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/Metodologia_TCCerrado_2013.pdf>.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Catálogo de imagens de satélite Rapideye do Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://geocatalogo.mma.gov.br/>>. Acesso em: 01 jan. 2019.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Instrução normativa nº 95, de 17 de dezembro de 2018**: fixa os procedimentos para regularização fundiária das ocupações incidentes em áreas rurais de propriedade do Incra e da União. Brasília, DF: Diário da União, 2018. Disponível em: <http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/56128852/do1-2018-12-20-instrucao-normativa-n-95-de-17-de-dezembro-de-2018-56128678>.

CALKA, B.; BIELECKA, E. Reliability analysis of Landscan gridded population data. the case study of Poland. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 5, 2019.

CHAND, T. R. K.; BADARINATH, K. V. S.; ELVIDGE, C. D.; TUTTLE, B. T. Spatial characterization of electrical power consumption patterns over India using temporal DMSP-OLS night-time satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 3, p. 647–661, 18 fev. 2009.

CHEN, Z.; YU, B.; HU, Y.; HUANG, C.; SHI, K.; WU, J. Estimating house vacancy rate in metropolitan areas using NPP-VIIRS nighttime light composite data. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 8, n. 5, p. 2188–2197, 2015.

CHEN, Z.; YU, B.; SONG, W.; LIU, H.; WU, Q.; SHI, K.; WU, J. A new approach for detecting urban centers and their spatial structure with nighttime light remote sensing. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 55, n. 11, p. 6305–6319, nov. 2017.

CHOWDHURY, P. K. et al. Electricity consumption patterns within cities: application of a data-driven settlement characterization method. **International Journal of Digital Earth**, v. 13, n. 1, p. 119-135, 2019. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17538947.2018.1556355>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

CHOWDHURY, P. K.; WEAVER, J. E.; WEBER, E. M.; LUNGA, D.; LEDOUX, S. T. M.; ROSE, A. N.; BHADURI, B. L. Electricity consumption patterns within cities: application of a data-driven settlement characterization method. **International Journal of Digital Earth**, p. 1–17, 2018.

CÔRTEZ, J. C. Novas abordagens para áreas de fronteira agrícola na Amazônia: recente dinâmica demográfica em Santarém, PA. In: ENCONTRO DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 18., 2012. **Anais...** ABEP, 2012. p.20.

COUTINHO, A. C.; ALMEIDA, C.; VENTURIERI, A.; ESQUERDO, J. C. D. M.; SILVA, M. **Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal: TerraClass 2008**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 108 p. ISBN(9788570351807).

CROFT, T. A. Burning waste gas in oil fields. **Nature**, v. 245, n. 5425, p. 375–376, out. 1973.

CROFT, T. A. Nighttime Images of the Earth from Space. **Scientific American**, v. 239, n. 1, p. 86–98, jul. 1978.

- DAL'ASTA, A. P.; AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V. Um modelo para a representação espaço-temporal do fenômeno urbano na Amazônia Contemporânea. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, v. 5, n. 2, p. 2359-1552, 2017.
- DOLL, C. N. H.; MULLER, J.-P. A comparison of different techniques applied to the UK to map socio-economic parameters: implications for modelling the human dimensions of global change. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 2000, Amsterdam. **Anais...** Amsterdam: 2000
- DOLL, C. N. H.; MULLER, J. P.; MORLEY, J. G. Mapping regional economic activity from night-time light satellite imagery. **Ecological Economics**, v. 57, n. 1, p. 75–92, 2006.
- DOU, Y.; LIU, Z.; HE, C.; YUE, H. Urban land extraction using VIIRS nighttime light data: an evaluation of three popular methods. **Remote Sensing**, v. 9, n. 2, p. 1–18, 2017.
- ELVIDGE, C. D.; BAUGH, K. E.; DIETZ, J. B.; BLAND, T.; SUTTON, P. C.; KROEHL, H. W. Radiance calibration of DMSP-OLS low-light imaging data of human settlements. **Remote Sensing of Environment**, v. 68, n. 1, p. 77–88, abr. 1999.
- ELVIDGE, C. D.; BAUGH, K. E.; KIHN, E. A.; KROEHL, H. W.; DAVIS, E. R.; DAVIS, C. W. Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 6, p. 1373–1379, 1997.
- ELVIDGE, C. D.; BAUGH, K. E.; ZHIZHIN, M.; HSU, F.-C. Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. **Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network**, v. 35, n. 0, p. 62, 2013.
- ELVIDGE, C. D.; BAUGH, K.; ZHIZHIN, M.; HSU, F. C.; GHOSH, T. VIIRS night-time lights. **International Journal of Remote Sensing**, v. 38, n. 21, p. 5860–5879, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS - EMBRAPA;
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **TerraClass
Cerrado: 2013**. São José dos Campos: INPE, 2013. Disponível em:
<<http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/>>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS - EMBRAPA;
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **TerraClass
Amazônia: 2014**. São José dos Campos: INPE, 2014a. Disponível em:
<http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS - EMBRAPA;
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **TerraClass
Amazônia: 2014**. São José dos Campos: INPE, 2014b. Disponível em:
<<https://www.terraclass.gov.br/>>.

ENDLICH, Â. M. Perspectivas sobre o urbano e o rural. In: FERREIRA, L. R.
Cidade e campo: relações e contradições entre urbano e rural. São Paulo:
Expressão Popular, 2006. p.11-31.

FEARNSIDE, P. M. The rate and extent of deforestation in Brazilian Amazonia.,
v. 17, n. 3, p. 213 - 226, 1990. **Environmental Conservation**, v. 17, n. 3, p.
213–226, 1990.

GREEN, J.; PERKINS, C.; STEINBACH, R.; EDWARDS, P. Reduced street
lighting at night and health: a rapid appraisal of public views in England and
Wales. **Health and Place**, v. 34, p. 171–180, 2015.

GRUSS, M. Air Force blames power failure for loss of DMSP-F19 weather
satellite. **Space News**, jul. 2016.

HALL, R. C. A history of the Military Polar Orbiting Meteorological Satellite
Program. **Quest**, v. 9, n. 2, p. 4–25, 2002.

HE, C.; MA, Q.; LIU, Z.; ZHANG, Q. Modeling the spatiotemporal dynamics of
electric power consumption in Mainland China using saturation-corrected
DMSP/OLS nighttime stable light data. **International Journal of Digital Earth**,
v. 7, n. 12, p. 993–1014, 26 nov. 2014.

HSU, F. C.; BAUGH, K. E.; GHOSH, T.; ZHIZHIN, M.; ELVIDGE, C. D. DMSP-OLS radiance calibrated nighttime lights time series with intercalibration.

Remote Sensing, v. 7, n. 2, p. 1855–1876, 2015.

HUANG, Q.; YANG, X.; GAO, B.; YANG, Y.; ZHAO, Y. Application of DMSP/OLS nighttime light images: a meta-analysis and a systematic literature review. **Remote Sensing**, v. 6, n. 8, p. 6844–6866, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Setores censitários e divisões intramunicipais - Censo 2010**, Rio de Janeiro: IBGE, 2010a. Disponível em:

<ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_d_e_setores_censitarios__divisooes_intramunicipais/censo_2010/>. Acesso em: 20 jan. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malhas digitais municipais - 2010**, Rio de Janeiro: IBGE, 2010b. Disponível em:

<ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2010/>. Acesso em: 20 jan. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE.

Cadastro nacional para fins estatísticos, Rio de Janeiro: IBGE, 2011a.

Disponível em: < <https://censo2010.ibge.gov.br/cnefe/> >. Acesso em: 20 jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico 2010: resultados preliminares do universo**, Rio de Janeiro:

IBGE, 2011b. Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 20 jul. 2019.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cadastro nacional de endereços para fins estatísticos auxiliará na produção de pesquisas domiciliares**, Rio de Janeiro: IBGE, 2011b. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo?busca=1&id=3&idnoticia=2028&view=noticia>>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da pecuária municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. v. 43, 1– 49 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativa populacional 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. v. 4.3.17.1
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Padrão de registro de endereços: definições e orientações de uso**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 51 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sinope do censo demográfico de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Acesso em: 30 abr. 2020. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/>>.
- IMHOFF, M. L.; LAWRENCE, W. T.; STUTZER, D. C.; ELVIDGE, C. D. A technique for using composite DMSP/OLS “city lights” satellite data to map urban area. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, n. 3, p. 361–370, 1997.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **RAPIDEYE**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/rapideye>>. Acesso em: 20 jul. 2019b.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Metodologia utilizada nos projetos PRODES e DETER**. São José dos Campos. 2019a. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/pdfs/Metodologia_Prodes_Deter_revisada.pdf>.
- JANNUZZI, P. D. M. **Indicadores sociais no Brasil**. Campinas: Alínea, 2012. 196 p.
- JENKS, G. F. The data model concept in statistical mapping. **International Yearbook of Cartography**, v. 7, p. 189–190, 1967.

- JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. 2. ed. New Delhi: Pearson Education India, 2009. 613 p.
- JING, X.; SHAO, X.; CAO, C.; FU, X.; YAN, L. Comparison between the Suomi-NPP day-night band and DMSP-OLS for correlating socio-economic variables at the provincial level in China. **Remote Sensing**, v. 8, n. 1, p. 1–24, 2016.
- MEDHI, J.. **Statistical methods: an introductory text**. New Delhi: New Age International, 1992.
- KYBA, C. C. M.; KUESTER, T.; KUECHLY, H. U. Changes in outdoor lighting in Germany from 2012-2016. **International Journal of Sustainable Lighting**, v. 19, n. 2, p. 112, 2017.
- LETU, H.; HARA, M.; YAGI, H.; NAOKI, K.; TANA, G.; NISHIO, F.; SHUHEI, O. Estimating energy consumption from night-time DMPS/OLS imagery after correcting for saturation effects. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 16, p. 4443–4458, 2010.
- LEVIN, N. The impact of seasonal changes on observed nighttime brightness from 2014 to 2015 monthly VIIRS DNB composites. **Remote Sensing of Environment**, v. 193, p. 150–164, 2017.
- LEVIN, N.; ZHANG, Q. A global analysis of factors controlling VIIRS nighttime light levels from densely populated areas. **Remote Sensing of Environment**, v. 190, p. 366–382, 2017.
- LIANG, C. K.; MILLS, S.; HAUSS, B. I.; MILLER, S. D. Improved VIIRS day/night band imagery with near-constant contrast. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 52, n. 11, p. 6964–6971, nov. 2014.
- LINARD, C.; GILBERT, M.; SNOW, R. W.; NOOR, A. M.; TATEM, A. J. Population distribution, settlement patterns and accessibility across Africa in 2010. **PLoS ONE**, v. 7, n. 2, 2012.
- LIU, Y.; DELAHUNTY, T.; ZHAO, N.; CAO, G. These lit areas are undeveloped: delimiting China’s urban extents from thresholded nighttime light imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 50, p. 39–50, 2016.

LO, C. P. Modeling the population of China using DMSP operational linescan system nighttime data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 67, n. 9, p. 1037–1047, 2001.

LOUREIRO, V. R.; PINTO, J. N. A. A questão fundiária na Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 77–98, 2005.

LU, D.; TIAN, H.; ZHOU, G.; GE, H. Regional mapping of human settlements in southeastern China with multisensor remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 9, p. 3668–3679, 2008.

MA, T. Quantitative responses of satellite-derived nighttime lighting signals to anthropogenic land-use and land-cover changes across China. **Remote Sensing**, v. 10, n. 9, 2018a.

MA, T. An estimate of the pixel-level connection between visible infrared imaging radiometer suite day/night band (VIIRS DNB) nighttime lights and land features across China. **Remote Sensing**, v. 10, n. 5, p. 1–11, 2018b.

MA, T.; ZHOU, C.; PEI, T.; HAYNIE, S.; FAN, J. Responses of Suomi-NPP VIIRS-derived nighttime lights to socioeconomic activity in Chinas cities. **Remote Sensing Letters**, v. 5, n. 2, p. 165–174, 2014.

MANN, M. L.; MELAAS, E. K.; MALIK, A. Using VIIRS day/night band to measure electricity supply reliability: preliminary results from Maharashtra, India. **Remote Sensing**, v. 8, n. 9, 2016.

MAURANO, L. E. P.; ESCADA, M. I. S.; RENNO, C. D. Padrões espaciais de desmatamento e a estimativa da exatidão dos mapas do PRODES para Amazônia Legal Brasileira. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p. 1763, 2019.

MELLANDER, C.; LOBO, J.; STOLARICK, K.; MATHESON, Z. Night-time light data: a good proxy measure for economic activity? **PLOS ONE**, v. 10, n. 10, p. e0139779, 23 out. 2015.

MELLO, N. A. **Políticas territoriais na Amazônia**. São Paulo - SP: Annablume, 2006. ISBN(85-7419-620-7).

MICROSOFT. **Understanding scale and resolution**, 2018. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/en-us/bingmaps/articles/understanding-scale-and-resolution>>. Acesso em: 4 dez. 2019.

MICROSOFT. **BingMaps**. Disponível em: <<https://www.bing.com/maps>>. Acesso em: 4 dez. 2019.

MILLER, S. D.; MILLS, S. P.; ELVIDGE, C. D.; LINDSEY, D. T.; LEE, T. F.; HAWKINS, J. D. Suomi satellite brings to light a unique frontier of nighttime environmental sensing capabilities. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 39, p. 15706–15711, 25 set. 2012.

MEYER, W.B., TURNER II, B.L. Human Population Growth and Global Land Use/Land Cover Change. **Annual Review of Ecology and Systematics**, n. 23. p. 39-61, 1992.

MONTE-MOR, R. O que é o urbano, no mundo contemporâneo. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, 2006.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **NASA space science data coordinated archive: visible day/night imagery**. 2015. Disponível em: <<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experiment/display.action?id=1965-072A-01>>.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. **Version 1 viirs day/night band nighttime lights: monthly composites - tile 2 and 5**, 2017a. Disponível em: <https://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html>. Acesso em: 1 jan. 2019.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. **Version 1 viirs day/night band nighttime lights: annual composites - tile 2 and 5**, 2017b. Disponível em: <https://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html>. Acesso em: 1 jan. 2019.

PINHO JUNIOR, S. R.; HENNING, P. C.; VIEIRA, V. T. A natureza entre o rural e o urbano. **Quaestio - Revista de Estudos em Educação**, v. 21, n. 1, p. 117–136, 2019.

PIZZOLI, E.; GONG, X. How to best classify rural and urban? **Rural-Urban Delimitation. A Statistical Analysis**, p. 2–13, 2007.

SANDRONI, P. **Novíssimo Dicionário de Economia**. [S.l.: s.n.], 1999. ISBN(85-7123-654-2).

SANTOS, M. **A Urbanização Brasileira**. São Paulo: Hucitec, 1993. 174 p.

SATHLER, D.; MONTE-MÓR, R. L.; CARVALHO, J. A. M. As redes para além dos rios: urbanização e desequilíbrios na Amazônia brasileira. **Nova Economia**, v. 19, n. 1, p. 10–39, 2009.

SCHNEIDER, A.; FRIEDL, M. A.; POTERE, D. Mapping global urban areas using MODIS 500-m data: new methods and datasets based on “urban ecoregions”. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 8, p. 1733–1746, 2010.

SHAPIRO, A. S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3, p. 591–611, 1965.

SHARMA, R. C.; TATEISHI, R.; HARA, K.; GHARECHELOU, S.; IIZUKA, K. Global mapping of urban built-up areas of year 2014 by combining MODIS multispectral data with VIIRS nighttime light data. **International Journal of Digital Earth**, v. 9, n. 10, p. 1004–1020, 2 out. 2016.

SHI, K.; HUANG, C.; YU, B.; YIN, B.; HUANG, Y.; WU, J. Evaluation of NPP-VIIRS night-time light composite data for extracting built-up urban areas. **Remote Sensing Letters**, v. 5, n. 4, p. 358–366, 2014a.

SHI, K.; YU, B.; HUANG, Y.; HU, Y.; YIN, B.; CHEN, Z.; CHEN, L.; WU, J. Evaluating the ability of NPP-VIIRS nighttime light data to estimate the gross domestic product and the electric power consumption of China at multiple scales: a comparison with DMSP-OLS data. **Remote Sensing**, v. 6, n. 2, p. 1705–1724, 2014b.

- SILVA DIAS, M. A. F.; COHEN, J. C. P.; GANDÚ, A. W. Interações entre nuvens, chuvas e a biosfera na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 215–222, 2005.
- SLATER, P. N. **Remote sensing: optics and optical systems**. [S.l.: s.n.], 1980. 575 p.
- SMILL, V. **Energy at the crossroads**. [S.l.] MIT Press, 2003. 444 p.
- SNEDECO, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical methods**. 8. ed. Iowa: Iowa State University Press, 1989. 503 p. ISBN(978-0813815619).
- STUDENT. The probable error of a mean. **Biometrika**, v. 6, n. 1, p. 1–25, 1908.
- SUGATHAN, N.; BIJU, V.; RENUKA, G. Influence of soil moisture content on surface albedo and soil thermal parameters at a tropical station. **Journal of Earth System Science**, v. 123, n. 5, p. 1115–1128, 2014.
- SULLIVAN, W. T. A 10 km resolution image of the entire night-time Earth based on cloud-free satellite photographs in the 400–1100 nm band. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 1, p. 1–5, 16 jan. 1989.
- SUTTON, P. C.; GOETZ, A. R.; FILDES, S.; FORSTER, C.; GHOSH, T. Darkness on the edge of town: mapping urban and peri-urban Australia using nighttime satellite imagery. **Professional Geographer**, v. 62, n. 1, p. 119–133, 2010.
- SUTTON, P.; ROBERTS, D.; ELVIDGE, C.; BAUGH, K. Census from Heaven: an estimate of the global human population using night-time satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 16, p. 3061–3076, 2001.
- TOBLER, W. R. Satellite confirmation of settlement size coefficients. **Aerea**, v.1, n.3, p.30-34, 1969.
- TOWNSEND, A. C.; BRUCE, D. A. The use of night-time lights satellite imagery as a measure of Australia's regional electricity consumption and population distribution. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 16, p. 4459–4480, 20 ago. 2010.

- TRINDADE, S. C. C. Uma floresta urbanizada? Legado e desdobramentos de uma Teoria sobre o Significado da Cidade e do Urbano Amazônia. **Espaço Aberto**, v. 3, n. 2, p. 89–108, 2013.
- VEIGA, J. E. **Cidades imaginárias: o Brasil é menos urbano do que calcula**. 2. ed. Campinas - SP: Associados, Autores, 2003. 304 p.
- VIEIRA FILHO, J. E. R. **Expansão da pecuária no Brasil e proposição metodológica de cálculo da produtividade em termos de sustentabilidade ambiental**. [S.l.: s.n.], 2017. p.227-258. ISBN(9788560330065).
- WANG, K.; WANG, P.; LIU, J.; SPARROW, M.; HAGINOYA, S.; ZHOU, X. Variation of surface albedo and soil thermal parameters with soil moisture content at a semi-desert site on the western Tibetan Plateau. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 116, n. 1, p. 117–129, 2005.
- WANG, R.; WAN, B.; GUO, Q.; HU, M.; ZHOU, S. Mapping regional urban extent using NPP-VIIRS DNB and MODIS NDVI data. **Remote Sensing**, v. 9, n. 8, 2017.
- WANG, X.; RAFA, M.; MOYER, J.; LI, J.; SCHEER, J.; SUTTON, P. Estimation and mapping of sub-national GDP in Uganda using NPP-VIIRS imagery. **Remote Sensing**, v. 11, n. 2, p. 163, 16 jan. 2019.
- WELCH, A. B. L. The generalization of Student's problem when several different population variances are involved. **Biometrika**, v. 34, n. 1, p. 28–35, 1947.
- WELCH, R. Monitoring urban population and energy utilization patterns from satellite Data. **Remote Sensing of Environment**, v. 9, n. 1, p. 1–9, 1980.
- WELCH, R.; ZUPKO, S. Urbanized area energy utilization patterns from dmsp data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 46, n. 2, p. 201–207, 1980.
- WELSH, B. C.; FARRINGTON, D. P. Effects of improved street lighting on crime. **Campbell Systematic Reviews**, v. 4, n. 1, p. 1–51, 2008.

WINKLERPRINS, A. M. G. A.; SOUZA, P. S. Surviving the city: urban home gardens and the economy of affection in the Brazilian Amazon. **Journal of Latin American Geography**, v. 4, n. 1, p. 107–126, 2005.

WU, R.; YANG, D.; DONG, J.; ZHANG, L.; XIA, F. Regional inequality in China based on NPP-VIIRS night-time light imagery. **Remote Sensing**, v. 10, n. 2, 2018.

ZHANG, Q.; SCHAAF, C.; SETO, K. C. The vegetation adjusted NTL urban index: A new approach to reduce saturation and increase variation in nighttime luminosity. **Remote Sensing of Environment**, v. 129, p. 32–41, 2013.

ZHAO, S.; DA, L.; TANG, Z.; FANG, H.; SONG, K.; FANG, J. Ecological consequences of rapid urban expansion: Shanghai, China. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 4, n. 7, p. 341–346, 2006.

ZHAO, X.; YU, B.; LIU, Y.; YAO, S.; LIAN, T.; CHEN, L.; YANG, C.; CHEN, Z.; WU, J. NPP-VIIRS DNB daily data in natural disaster assessment: evidence from selected case studies. **Remote Sensing**, v. 10, n. 10, p. 1–25, 2018.

ZHOU, Y.; SMITH, S. J.; ZHAO, K.; IMHOFF, M.; THOMSON, A.; BOND-LAMBERTY, B.; ASRAR, G. R.; ZHANG, X.; HE, C.; ELVIDGE, C. D. A global map of urban extent from nightlights. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 5, p. 2000–2010, 2015.

APÊNDICE A – IMAGENS RAPIDEYE CONSULTADAS

Tabela A.1 - Imagens RapidEye/REIS consultadas.

Data de aquisição	Nível de processamento	Coluna	Linha	Zona UTM de referência
13/05/2013	3A - NAC	07	321	21
13/10/2013	3A - NAC	15	391	19
30/01/2014	3A – NAC	15	334	22
05/02/2014	3A – NAC	16	334	22
09/03/2014	3A – NAC	21	383	20
16/03/2014	3A – NAC	07	349	21
29/03/2014	3A - NAC	25	393	19
12/04/2014	3A - NAC	21	399	19
12/04/2014	3A - NAC	21	398	19
12/04/2014	3A – NAC	17	391	19
13/04/2014	3A – NAC	15	340	22
13/04/2014	3A – NAC	14	340	22
16/04/2014	3A – NAC	19	335	21
17/04/2014	3A - NAC	11	377	19
01/05/2014	3A - NAC	23	327	21
03/05/2014	3A - NAC	14	348	21
03/05/2014	3A – NAC	14	345	21
04/05/2014	3A – NAC	05	327	21
05/05/2014	3A – NAC	12	371	19
06/05/2014	3A – NAC	01	334	22
07/05/2014	3A - NAC	04	334	22
08/05/2014	3A - NAC	04	339	22
09/05/2014	3A - NAC	16	349	21
14/05/2014	3A – NAC	14	330	22
15/05/2014	3A – NAC	13	341	22
16/05/2014	3A – NAC	20	347	21
16/05/2014	3A – NAC	20	347	21
28/05/2014	3A - NAC	04	323	21
30/05/2014	3A - NAC	03	338	22
30/05/2014	3A - NAC	26	356	18
01/06/2014	3A – NAC	14	333	22
01/06/2014	3A – NAC	01	342	22
02/06/2014	3A – NAC	06	375	23
02/06/2014	3A – NAC	05	374	23
02/06/2014	3A - NAC	05	373	23
02/06/2014	3A - NAC	04	372	23
03/06/2014	3A - NAC	25	372	22
06/06/2014	3A – NAC	16	341	22

Continua.

Tabela A.1 - Continuação.

Data de aquisição	Nível de processamento	Coluna	Linha	Zona UTM de referência
09/06/2014	3A – NAC	14	357	21
10/06/2014	3A – NAC	17	356	21
11/06/2014	3A – NAC	07	365	23
11/06/2014	3A - NAC	25	335	20
11/06/2014	3A - NAC	05	348	20
11/06/2014	3A - NAC	06	343	20
12/06/2014	3A – NAC	06	376	23
12/06/2014	3A – NAC	07	357	22
12/06/2014	3A – NAC	17	345	20
14/06/2014	3A – NAC	08	376	23
14/06/2014	3A - NAC	14	375	21
14/06/2014	3A - NAC	12	367	21
14/06/2014	3A - NAC	14	365	20
15/06/2014	3A – NAC	09	357	21
15/06/2014	3A – NAC	07	341	21
15/06/2014	3A – NAC	13	366	20
16/06/2014	3A – NAC	11	335	22
16/06/2014	3A - NAC	16	358	21
16/06/2014	3A - NAC	16	356	21
16/06/2014	3A - NAC	22	364	20
16/06/2014	3A – NAC	20	354	20
16/06/2014	3A – NAC	05	376	20
17/06/2014	3A – NAC	10	346	20
17/06/2014	3A – NAC	10	343	20
18/06/2014	3A - NAC	01	357	19
18/06/2014	3A - NAC	28	357	18
23/06/2014	3A - NAC	26	366	22
23/06/2014	3A – NAC	25	373	21
23/06/2014	3A – NAC	26	373	21
23/06/2014	3A – NAC	26	369	21
23/06/2014	3A – NAC	27	369	21
23/06/2014	3A - NAC	25	369	21
23/06/2014	3A - NAC	25	368	21
23/06/2014	3A - NAC	26	367	21
24/06/2014	3A – NAC	03	347	21
24/06/2014	3A – NAC	03	346	21
24/06/2014	3A – NAC	14	344	20
24/06/2014	3A – NAC	14	343	20
24/06/2014	3A - NAC	14	342	20
25/06/2014	3A - NAC	25	371	22
25/06/2014	3A - NAC	18	334	22

Continua.

Tabela A.1 - Continuação.

Data de aquisição	Nível de processamento	Coluna	Linha	Zona UTM de referência
25/06/2014	3A – NAC	08	333	21
26/06/2014	3A – NAC	22	375	21
26/06/2014	3A – NAC	23	372	21
27/06/2014	3A – NAC	22	347	20
10/07/2014	3A - NAC	14	332	22
28/07/2014	3A - NAC	14	345	20
28/07/2014	3A - NAC	14	344	20
30/07/2014	3A – NAC	26	331	20
08/08/2014	3A – NAC	24	368	21
09/08/2014	3A – NAC	07	364	22
11/08/2014	3A – NAC	11	386	20
12/08/2014	3A - NAC	03	378	21
12/08/2014	3A - NAC	03	378	21
17/08/2014	3A - NAC	24	364	18
18/08/2014	3A – NAC	26	378	20
19/08/2014	3A – NAC	09	373	20
19/08/2014	3A – NAC	19	376	19
28/08/2014	3A – NAC	16	385	22
31/08/2014	3A - NAC	25	396	19
31/08/2014	3A - NAC	22	392	19
31/08/2014	3A - NAC	24	390	19
01/09/2014	3A – NAC	20	386	20
13/09/2014	3A – NAC	04	335	22
17/09/2014	3A – NAC	03	370	19
22/09/2014	3A – NAC	22	350	19
23/09/2014	3A - NAC	23	380	21
23/09/2014	3A - NAC	23	379	21
23/09/2014	3A - NAC	23	378	21
23/09/2014	3A – NAC	23	377	21
24/09/2014	3A – NAC	18	380	21
24/09/2014	3A – NAC	20	379	21
28/09/2014	3A – NAC	21	399	19
28/09/2014	3A - NAC	22	398	19
30/09/2014	3A - NAC	27	364	20
12/10/2014	3A - NAC	25	367	18
14/10/2014	3A – NAC	18	344	20
14/10/2014	3A – NAC	18	344	20
30/10/2014	3A – NAC	11	392	19
01/11/2014	3A – NAC	21	379	21
02/11/2014	3A - NAC	21	372	21
06/11/2014	3A - NAC	13	377	23

Continua.

Tabela A.1 - Continuação.

Data de aquisição	Nível de processamento	Coluna	Linha	Zona UTM de referência
12/11/2014	3A – NAC	06	336	22
12/11/2014	3A - NAC	06	337	22
23/11/2014	3A – NAC	25	378	19
14/08/2014	3A	01	347	19
27/06/2015	3A	18	349	19
17/08/2014	3A	11	360	19
12/09/2015	3A	09	371	19
11/09/2015	3A	12	371	19
11/09/2015	3A	12	372	19
28/08/2015	3A	13	375	19
08/02/2015	3A	24	377	19
08/02/2015	3A	23	382	19
08/02/2015	3A	24	382	19
14/09/2015	3A	13	384	19
21/02/2014	3A	28	385	19
25/08/2014	3A	12	387	19
03/10/2014	3A	15	391	19
11/09/2015	3A	17	391	19
24/11/2015	3A	12	392	19
31/03/2014	3A	14	393	19
14/09/2015	3A	22	393	19
20/02/2015	3A	11	396	19
11/04/2014	3A	18	397	19
12/04/2014	3A	18	397	19
21/02/2015	3A	21	398	19
02/01/2015	3A	22	399	19
11/06/2014	3A	24	334	20
15/06/2015	3A	23	335	20
29/07/2014	3A	22	336	20
30/06/2014	3A	19	337	20
17/06/2015	3A	20	337	20
20/04/2015	3A	25	337	20
03/11/2014	3A	26	337	20
17/06/2014	3A	11	342	20
11/06/2014	3A	05	343	20
20/06/2014	3A	12	343	20
29/06/2015	3A	14	343	20
29/06/2015	3A	14	344	20
11/06/2014	3A	06	346	20
04/07/2014	3A	08	346	20
16/06/2014	3A	16	346	20

Continua.

Tabela A.1 - Continuação.

Data de aquisição	Nível de processamento	Coluna	Linha	Zona UTM de referência
12/06/2014	3A	16	347	20
24/06/2015	3A	19	347	20
18/06/2014	3A	10	348	20
17/06/2014	3A	12	351	20
12/08/2015	3A	02	369	20
03/09/2015	3A	05	373	20
08/11/2014	3A	16	382	20
25/07/2015	3A	11	383	20
30/08/2014	3A	21	384	20
28/01/2015	3A	05	389	20
28/05/2014	3A	06	320	21
03/05/2014	3A	10	331	21
20/06/2014	3A	21	331	21
23/06/2014	3A	21	345	21
23/06/2014	3A	14	365	21
02/07/2015	3A	27	369	21
02/07/2015	3A	28	369	21
17/07/2015	3A	22	371	21
16/07/2015	3A	22	374	21
04/09/2014	3A	04	376	21
17/07/2015	3A	23	376	21
26/09/2015	3A	21	378	21
26/09/2015	3A	22	379	21
02/12/2014	3A	24	379	21
22/02/2015	3A	05	321	22
10/07/2014	3A	13	329	22
28/12/2014	3A	04	331	22
05/05/2014	3A	21	333	22
20/05/2015	3A	03	334	22
20/03/2014	3A	25	334	22
25/07/2015	3A	15	336	22
06/10/2014	3A	12	337	22
16/05/2015	3A	11	340	22
15/09/2014	3A	26	341	22
26/05/2015	3A	01	347	22
27/06/2014	3A	12	358	22
22/06/2014	3A	20	359	22
30/01/2015	3A	22	375	22
28/05/2014	3A	01	354	23
15/07/2015	3A	04	372	23
15/07/2015	3A	05	373	23

Continua.

Tabela A.1 - Conclusão.

Data de aquisição	Nível de processamento	Coluna	Linha	Zona UTM de referência
13/10/2015	3A	07	376	23
02/06/2014	3A	07	377	23
14/06/2014	3A	07	377	23
03/10/2015	3A	07	377	23
12/09/2015	3A	07	378	23
03/10/2015	3A	07	378	23
03/10/2015	3A	08	379	23
05/05/2014	3A	03	380	23
12/09/2015	3A	07	381	23
03/10/2015	3A	09	384	23

Nível 3A – Imageado a 6,5 metros, reamostrado a 5 m, submetido à correção atmosférica e ortorretificado; NAC – Não submetido à correção atmosférica (em inglês, *not atmospherically corrected*).