



# SCHOOL OF ECONOMICS AND MANAGEMENT

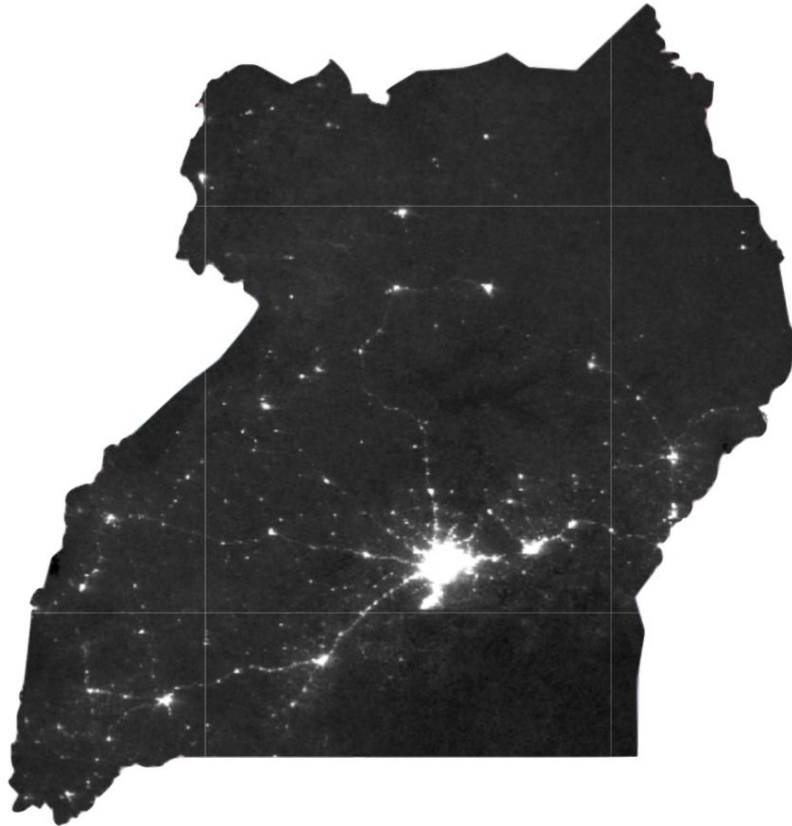
Universidade de Lund | Departamento de Economia

NEKH01 | Dissertação de bacharelado

Maio de 2022

## Luzes noturnas como um proxy para indicadores socioeconômicos em Uganda

---



**Autor:** Eric Kaoukji

**Supervisora:** Petra Thiemann

## Resumo

Uma grande quantidade de pesquisa econômica depende de censos, pesquisas ou contas nacionais como um todo. fonte de dados. Para muitas nações em desenvolvimento, a qualidade desses dados é amplamente reconhecida ser pouco confiável e raramente está disponível em nível subnacional. Ao usar um novo e melhorado fonte de dados de imagens de satélite noturnas, este estudo investiga até que ponto esses dados podem servir como um proxy para os meios tradicionais de medição de indicadores socioeconômicos em Uganda, como bem como quais melhorias esta nova fonte de dados oferece em relação à sua fonte mais amplamente utilizada predecessor. Para o propósito deste estudo, um algoritmo é construído que fornece, pré-processa e converte dados de imagens de satélite em um produto pronto para análise. O relacionamento entre as luzes noturnas e os indicadores escolhidos é investigado através da realização de uma série de regressões lineares e a capacidade desta nova fonte de dados de detectar mudanças em pequena escala. As luzes noturnas são exploradas por meio da criação de um mapa de "taxa de variação". Este artigo conclui que existe uma relação forte e substancial entre as luzes noturnas e PIB, esperança de vida, taxa de mortalidade infantil, acesso à electricidade e população urbana em Uganda. Além disso, este artigo conclui que esta nova fonte de dados de satélite permite a detecção de mudanças nas luzes noturnas com uma resolução espacial muito maior do que a que era anteriormente possível com a fonte mais antiga de dados de luz noturna.

**Palavras-chave:** *Luzes noturnas, Sensoriamento remoto, Uganda, Economia do desenvolvimento, Python, Regressão linear, Imagens de satélite.*

## Agradecimentos

Gostaria de agradecer à minha supervisora Petra Thiemann pelo seu apoio e orientação contínuos durante todo o processo de construção e escrita deste artigo.

## Índice

<b>Resumo.....</b>	<b>2</b>
<b>Agradecimentos.....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>2. CONTEXTO.....</b>	<b>7</b>
2.1 Sensoriamento remoto e luzes noturnas.....	7
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>8</b>
3.1 Luzes noturnas como proxy .....	8
3.2 Aplicação em pesquisa econômica.....	11
3.3 VIIRS-DNB: Uma grande melhoria em relação ao DSMP-OLS .....	12
<b>4. DADOS.....</b>	<b>13</b>
4.1 VIIRS-DNB.....	13
4.2 Indicadores.....	15
4.2.1 PIB e PIB per capita.....	16
4.2.2 Expectativa de vida e taxa de mortalidade infantil.....	16
4.2.3 Acesso à eletricidade e população urbana total.....	17
<b>5. MÉTODO .....</b>	<b>18</b>
.....	18
.....	18
5.1 Coleta e conversão de dados.....	19
5.2 Análise de regressão.....	20
5.3 Mapa da Taxa de Mudança.....	21
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
6.1 Resultados a nível nacional.....	22
6.2 Resultados a nível subnacional .....	25
<b>7. DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
7.1 Nível nacional.....	29
7.2 Nível subnacional.....	30
7.3 Limitações.....	32
DNB.....	32
solo .....	33
países.....	33
7.3.2 Uso agrícola do	
7.3.3 Transferibilidade para outros	
7.4 Pesquisa futura.....	34
<b>8. Conclusão.....</b>	<b>35</b>
<b>9. Referências .....</b>	<b>37</b>
<b>10. Apêndice.....</b>	<b>39</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da investigação económica é melhorar a qualidade da informação económica. dados, especialmente para economias em desenvolvimento. Muitos países em desenvolvimento, particularmente aqueles devastados por conflitos, têm poucas ou nenhuma fontes confiáveis de dados censitários ou econômicos. Baixa qualidade de dados tornou as tentativas de compreender o crescimento, o desenvolvimento e a pobreza difíceis, na melhor das hipóteses, e tem dificultado significativamente a pesquisa em nível subnacional. A crescente disponibilidade de dados de sensoriamento remoto de alta qualidade<sup>1</sup> representa uma oportunidade única para pesquisadores e organizações igualmente para combater o problema da má qualidade dos dados nos países em desenvolvimento, bem como fornecer meios alternativos para medir com precisão e eficácia variáveis socioeconômicas, como Produto Interno Bruto, expectativa de vida e população urbana.

Os dados derivados do sensoriamento remoto devem servir como um substituto eficaz para indicadores socioeconômicos, as potenciais economias de custos associadas à coleta de dados econômicos e os dados demográficos podem ser tremendos. Uma vez que muitos abrangentes, de alta qualidade, remotos conjuntos de dados de detecção estão disponíveis publicamente, os principais custos associados aos dados tradicionais a coleta em países em desenvolvimento poderia ser efetivamente ignorada por qualquer pessoa com acesso à Internet conexão e um computador. Além disso, ser capaz de produzir uma imagem precisa de onde crescimento, desenvolvimento e pobreza são mais prevalentes a nível subnacional, o que contribuiria ainda mais melhorar a alocação eficaz de ajuda e recursos por organizações humanitárias equipadas com o conhecimento de onde seus recursos podem ser aplicados de forma mais eficaz. Finalmente, sendo capaz de estudar e compreender com mais precisão o crescimento e o desenvolvimento económico como resultado de dados de maior qualidade serviria para promover o campo da pesquisa económica como um todo, uma vez que isso abriria a porta para futuras pesquisas que investigassem relacionamentos e fenômenos que ainda precisam ser estudados.

Partindo do pressuposto de que a maioria das atividades econômicas requer eletricidade, este artigo visa contribuir para a pesquisa em andamento sobre dados de luz noturna como um proxy para indicadores socioeconômicos por meio de uma nova fonte de dados de imagens de satélite considerada uma grande melhoria em relação ao utilizado na maioria dos estudos anteriores. Isso será feito usando a linguagem de programação Python para obter dados de satélite noturnos do VIIRS-DNB2 sensor via API do Google Earth Engine (GEE)<sup>3</sup>, e então construir um algoritmo para pré-

---

<sup>1</sup> Informações adquiridas por meio de satélites, aeronaves de alta altitude ou outros dispositivos com sensores.

<sup>2</sup> Conjunto de radiômetros de imagem visível e infravermelha – sensor de banda diurna e noturna.

<sup>3</sup> Interface de Programação de Aplicativos, um servidor que permite ao usuário enviar e recuperar dados usando código.

processar e converter esses dados em um produto pronto para análise. Esses dados serão usados para realizar uma série de regressões lineares em uma seleção de indicadores socioeconômicos de nível nacional indicadores em Uganda, para determinar a relação entre as luzes noturnas e estas indicadores. Posteriormente, um mapa visualizando a taxa de mudança nas luzes noturnas durante o período 2014-2020 será construído usando a mesma fonte de dados para oferecer uma visão de como As luzes noturnas desenvolveram-se no Uganda a nível subnacional. Ao realizar esta análise, este artigo tem como objetivo investigar se as luzes noturnas medidas pelo novo VIIRS-DNB sensor pode oferecer melhorias em relação aos resultados encontrados em estudos anteriores usando o DMSP-Sensor OLS4, bem como em que medida as luzes noturnas podem servir como um proxy para indicadores socioeconômicos.

Uganda foi escolhido como tema de estudo neste artigo por alguns motivos. Em primeiro lugar, a A nação é amplamente considerada um dos países mais pobres e menos desenvolvidos do mundo<sup>5</sup>. O país ainda enfrenta muitos desafios importantes de desenvolvimento, incluindo pobreza, baixa investimentos em infraestrutura e vulnerabilidade econômica. Além disso, apesar da situação decente relações diplomáticas e comerciais com os países vizinhos a oeste e a sul, Uganda a intervenção na guerra civil do Sudão do Sul resultou em confrontos e conflitos entre rebeldes e militares sendo uma ocorrência frequente em áreas próximas à fronteira desde 2013<sup>6</sup>. No entanto, em termos da Pontuação de Capacidade Estatística do Banco Mundial<sup>7</sup>, considera-se que o Uganda tem alguns dos os dados socioeconômicos de maior qualidade do continente (ver *Figura 2*). Embora isso A afirmação pode, à primeira vista, parecer contradizer o propósito deste artigo (investigar a utilidade das luzes noturnas como um substituto em países com dados econômicos precários), a escolha de uma nação em desenvolvimento com dados econômicos de alta qualidade tem sido ativa. Ao conduzir uma regressão linear em indicadores socioeconômicos medidos com precisão em uma nação em desenvolvimento, este artigo será capaz de formar uma conclusão mais decisiva sobre o quão próximo o antigo reflete o último e, portanto, quão bem as luzes noturnas podem servir como uma medida proxy em países sem fontes confiáveis de dados socioeconômicos. Realizar esta mesma análise em um nação com pior qualidade de dados significaria que qualquer inferência feita sobre o quão bem dados de luz noturna refletem medições tradicionais que seriam, inerentemente, não confiáveis.

---

<sup>4</sup> Programa de Satélites Meteorológicos de Defesa – Sistema Operacional de Varredura de Linhas: Um sensor de satélite que está em operação desde a década de 1970, considerado o antecessor do VIIRS-DNB.

<sup>5</sup> Perfil econômico da ONU para Uganda: <https://www.un.org/development/desa/dpad/least-developed-country-category-uganda.html> Fonte: <https://>

<sup>6</sup> [www.accord.org.za/conflict-trends/south-sudan-uganda-relations/](http://www.accord.org.za/conflict-trends/south-sudan-uganda-relations/) Um indicador medido pelo

<sup>7</sup> Banco Mundial que avalia a capacidade de uma nação de coletar, analisar e disseminar dados de alta qualidade sobre sua população e economia.

## 2. CONTEXTO

Como não se pode esperar que todos os leitores estejam familiarizados com alguns dos aspectos discutidos neste artigo, os termos-chave e tópicos essenciais para a compreensão do futuro as seções serão brevemente apresentadas e explicadas a seguir.

### 2.1 Sensoriamento Remoto e Luzes Noturnas

O sensoriamento remoto refere-se à aquisição de informações sobre um objeto de estudo sem vir em contato físico com o objeto em questão. Normalmente, o termo é usado para se referir a aquisição de informações sobre a Terra usando satélites, aeronaves de alto voo ou outros sensores Dispositivos de transporte. Os sensores utilizados em sensoriamento remoto podem ser divididos em duas categorias principais: Passivo e ativo. Os sensores passivos medem fontes naturais de energia que são emitidas ou refletidos na superfície da Terra, como a luz do sol ou as luzes da cidade, enquanto os sensores ativos usam sua própria fonte de energia para iluminação (por exemplo, RADAR, LIDAR). Embora remoto detecção é um termo genérico que pode se referir a muitos tipos diferentes de aquisição de informações, o termo será usado neste artigo principalmente em um contexto que se refere às informações coletadas por sensores a bordo de satélites.

Luzes noturnas, ou dados de luz noturna detectados remotamente, referem-se a imagens com pouca luz do Terra vista do espaço. Imagens de satélites com pouca luz são realizadas desde a década de 1970 após a introdução de sensores a bordo do Programa de Satélites Meteorológicos de Defesa (DMSP) e tem sido usado para capturar várias fontes de emissões de baixa luminosidade da Terra<sup>8</sup>. As baixas emissões de luz da Terra à noite geralmente indicam aspectos da atividade humana, já que as fontes dessas emissões incluem chamas de gás, barcos de pesca e luzes da cidade, para citar alguns<sup>9</sup>. Por capturando essas emissões de baixa luminosidade, as luzes noturnas oferecem uma oportunidade de obter insights na atividade humana, como as fontes associadas à observação da iluminação artificial em noite incluem atividade comercial, assentamentos urbanos contemporâneos e transporte corredores. A conexão entre luzes noturnas e atividade econômica, urbanização e o desenvolvimento será examinado e corroborado mais detalhadamente na seção de revisão da literatura.

---

<sup>8</sup> <https://eogdata.mines.edu/products/dmsp/>

<sup>9</sup> Elvidge, CD, Baugh, KE, Kihn, EA, Kroehl, HW e Davis, ER (1997). Mapeando as luzes da cidade com dados noturnos do Sistema de Varredura de Linhas Operacionais DMSP. *Engenharia Fotogramétrica e Sensoriamento Remoto*, 63(6), 727-734.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

Já existe uma extensa literatura em que muitos estudos têm demonstrado que a noite  
luzes para ser altamente correlacionado com a presença de população, atividade econômica, PIB e PIB  
crescimento. Esta seção apresentará e resumirá uma parte dos estudos que estabeleceram a base  
base para a pesquisa em andamento sobre a aplicabilidade das luzes noturnas como  
proxy útil para indicadores socioeconômicos.

#### 3.1 Luzes noturnas como proxy

Desde que foi implementado pela primeira vez na década de 1970, o DSMP – Sistema Operacional de Varredura de Linhas  
(OLS) foi capaz de capturar imagens diurnas e noturnas da Terra por meio de dois  
bandas espectrais, VIS e TIR (Elvidge et al., 1997). O sinal da banda VIS, usado para  
captura de imagens noturnas, é intensificada usando um tubo fotomultiplicador (PMT) para capturar  
fontes de baixa emissão de luz. O sistema PMT foi inicialmente implementado para detectar nuvens  
cobertura à noite, no entanto, uma consequência não intencional da intensificação do trabalho noturno  
A luz era a capacidade de detectar chamas de gás, luzes da cidade e incêndios à noite. Apesar do uso potencial  
de dados DMSP-OLS para monitoramento de luzes da cidade e outras fontes de baixa emissão de luz sendo  
observado já na década de 1970, nenhum arquivo digital do DMSP-OLS foi mantido durante os primeiros 20  
anos.

Em 1997, Elvidge et al. (1997) criaram um método digital para mapear as luzes da cidade com DMSP-  
OLS excluindo luzes difundidas pela cobertura de nuvens, criando assim uma maneira confiável de  
observar e monitorar as luzes da cidade à noite. A criação deste método digital abriu as portas  
para a comunidade de pesquisa utilizar dados de luz noturna para mapear efetivamente condições estáveis de pouca luz  
fontes de emissão.

Com base no método desenvolvido por Elvidge et al. (1997), Doll et al. (2000) exploram a noite-  
imagens de satélite em tempo real para investigar o potencial das imagens noturnas para fins quantitativos  
estimativa de parâmetros socioeconômicos globais. Utilizando um período noturno composto de 6 meses  
imagens de satélite das quais fontes de luz transitórias, como incêndios florestais e frotas de navios, são  
eliminado, Doll et al. (2000) criam um conjunto de dados de “luzes estáveis”, contendo apenas luz emitida  
das cidades à noite.



Ao comparar este conjunto de dados de “luzes estáveis” com vários conjuntos de dados de apoio, Doll et al. (2000) são capazes de criar estimativas da população urbana global que representam mais de 90% da o total citado. Além disso, Doll et al. (2000) descobriram que a área total iluminada de um país em a noite tem um alto valor de correlação estatisticamente significativo com o Produto Interno Bruto (PIB), bem como a emissão total de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Da mesma forma, Sutton e Costanza (2002) utilizam o conjunto de dados DSMP - OLS para quantificar uma por relação entre luzes noturnas e Produto Interno Bruto (PIB) 10 para os estados dos EUA regredindo o GSP com as luzes noturnas medidas para cada estado. Eles descobriram que um aumento percentual na Energia Luminosa medido pelo DMSP-OLS está associado a um aumento no PIB em 1,05 por cento. Eles encontram um valor R-quadrado a partir da regressão do logaritmo de Light Energia no logaritmo do Produto Interno Bruto do Estado de 0,86, o que implica que 86 por cento da variância no Produto Interno Bruto O Produto Estadual é explicado pela Energia Luminosa, significando uma relação substancial.

Ebener et al. (2005) examinam mais detalhadamente a relação entre a luz noturna DMSP-OLS medições e produção econômica investigando se as luzes noturnas, como um proxy para riqueza, pode por sua vez apoiar a estimativa da distribuição de indicadores de saúde correlacionados em nos níveis nacional e subnacional. Ebener et al. (2005) demonstram a utilidade da vigilância noturna luzes de tempo como uma medida independente, com dependência zero de dados de relatórios nacionais, como uma método eficaz de geração de estimativas do PIB per capita nacional e subnacional números. Além disso, os resultados em nível de país confirmam a conclusão de Doll et al. (2000) sobre a relação entre área total iluminada e PIB.

Além disso, Ebener et al. (2005) descobriram que as luzes noturnas podem ser usadas com sucesso para previsão do PIB per capita até um certo nível de desenvolvimento econômico. Seus resultados indicam que, embora a relação entre as luzes nocturnas e o PIB per capita seja forte em nações em desenvolvimento, essa relação se rompe à medida que uma nação atinge níveis mais elevados de desenvolvimento econômico.

Ebener et al. (2005) concluem enfatizando a importância das luzes noturnas como método de avaliar o impacto dos esforços internacionais para melhorar a situação econômica e da saúde condições das pessoas nas áreas mais pobres do mundo. Ebener et al. (2005) sugerem que

---

10 Medido como o Produto Interno Bruto de um estado individual nos EUA.

melhorar a qualidade dos conjuntos de dados de luz noturna pode ser uma maneira muito mais fácil de melhorar a medição de indicadores económicos subnacionais em vez de melhorar a situação nacional relatórios desses indicadores. Finalmente, Ebener et al. (2005) propõem aplicar sua abordagem a indicadores de consumo, em vez de valores de renda per capita, como método de geração mapas de pobreza específicos de cada país.

Ghosh et al. (2010) combinam imagens de satélite noturnas DMSP-OLS com o LandScan conjunto de dados grid11 da população para criar um modelo para estimar o total (informal mais formal) atividade econômica para as nações do mundo. Semelhante a estudos anteriores, Ghosh et al. (2010) encontre relações fortes entre o PIB e a Soma de Luzes medida pelo DSMP-OLS, encontrando um R2 tão alto quanto 0,99 para alguns grupos de amostra.

Ghosh et al. (2010) explicam que sua abordagem não representa um método verdadeiramente independente de medir a atividade econômica, pois a única maneira de validar seus resultados era pela comparação às estatísticas oficiais do PIB e às estimativas da economia informal. No entanto, concluem que o mapa da atividade econômica total criado a partir de imagens noturnas e do LandScan a grelha populacional fornece um meio alternativo eficaz de medir a actividade económica, especialmente no contexto da recessão económica global de 2008, onde a importância da compreender a distribuição global de riqueza e a recuperação econômica é melhor do que nunca.

Finalmente, Ghosh et al. (2010) discutem as deficiências observacionais dos dados DMSP-OLS, ou seja, resolução espacial e temporal grosseira, bem como falta de calibração a bordo. Ghosh et al. (2010) indicam que os dados de luz noturna adquiridos em um nível espacial e a resolução temporal pode potencialmente facilitar a criação de dados socioeconômicos mais precisos mapas e acreditamos que a introdução do sistema de satélite VIIRS será capaz de abordar as deficiências dos dados de luz noturna do DMSP-OLS.

Em resumo, estudos anteriores descobriram que existe uma ligação substancial entre iluminação noturna e produção econômica, além de grande potencial para o uso de iluminação noturna luzes medidas pelo DMSP-OLS como método de medição da atividade econômica, estado de saúde e pobreza nos países em desenvolvimento.

---

<sup>11</sup> Um banco de dados de distribuição populacional global desenvolvido pelo Departamento de Energia do Oak Ridge National Laboratório, disponível em: <https://landscan.ornl.gov/>

### 3.2 Aplicação em pesquisa econômica

Em seu extenso estudo, Vernon Henderson et al. (2012) criaram uma estrutura estatística para combinar dados sobre mudanças nas luzes noturnas usando o DMSP-OLS com contas nacionais dados sobre o crescimento da renda para melhorar as estimativas do crescimento real da renda. Usando esta estrutura, Vernon Henderson et al. (2012) descobriram que o crescimento das luzes noturnas pode servir como uma forma eficaz proxy para o crescimento do PIB em países de baixa renda. Vernon Henderson et al. (2012) concluem que os dados sobre a luz noturna podem desempenhar um papel fundamental na análise do crescimento a nível sub e supranacional níveis onde dados de renda com alta resolução espacial não estão disponíveis. Além disso, com base em suas descobertas, Vernon Henderson et al. (2012) sugerem que futuras pesquisas econômicas sobre crescimento empírico não precisa mais ser sinônimo de dados de contas de renda nacional.

Da mesma forma, Nordhaus e Chen (2014) examinam se os dados de luz noturna contêm informações úteis informações para estimar rendas e produções nacionais e regionais em pesquisas econômicas. Nordhaus e Chen (2014) constatarem que existem informações substanciais em dados de luz noturna para países com sistemas estatísticos de baixa qualidade, no entanto, os dados de luz noturna fornecem pouca informação adicional para nações com sistemas estatísticos mais desenvolvidos.

Gibson et al. (2021), constataram em seu estudo que embora o DMSP-OLS seja usado com muito mais frequência do que o VIIRS-DNB como fonte de dados de luz noturna em pesquisa econômica, VIIRS noturno- Os dados de luz do tempo servem como um proxy muito melhor para a atividade econômica local. No entanto, eles também descobrir que, apesar do VIIRS-DNB oferecer uma grande melhoria em relação ao DMSP-OLS como um proxy medição, ainda há algumas questões sobre se qualquer uma dessas fontes pode fornecer um bom proxy para a atividade econômica em áreas rurais de baixa densidade. Em vez disso, para construir uma medição por procuração, Gibson et al. (2021), recomendam a adição de outras fontes de imagens de satélite diurnas, em combinação com fontes tradicionais de dados de pesquisa.

Além disso, Gibson et al. (2021) observam que, embora pesquisas anteriores tenham encontrado resultados promissores resultados relativos à utilização de luzes noturnas DMSP-OLS para prever o PIB a nível nacional, esta pode não ser uma justificativa apropriada para o uso do DMSP-OLS em casos mais recentes estudos que fazem previsões no nível subnacional, ou mesmo de pixel. Eles observam que, embora ambas as fontes de dados noturnos apresentem um declínio no desempenho em níveis espaciais mais baixos unidades, o VIIRS-DNB mantém um desempenho preditivo muito maior do que o DMSP-OLS em

unidades espaciais de nível inferior e sugerem que o VIIRS-DNB é uma fonte de dados muito melhor para estudando padrões espaciais de desenvolvimento urbano.

Em resumo, as luzes noturnas são consideradas o que há de mais moderno em pesquisa econômica, no entanto, ainda existem questões em aberto quanto à sua aplicabilidade e validade, especialmente em termos de resolução espacial. Apesar do VIIRS-DNB ser amplamente considerado uma melhoria sobre o DMSP-OLS, algumas das preocupações relativas à aplicação de luzes noturnas em a pesquisa econômica se aplica a ambas as fontes de dados, e pesquisas adicionais são necessárias para apontar verificar sua validade em diferentes contextos. Este artigo contribuirá para essa literatura em expansão investigando a aplicabilidade das luzes noturnas medidas pelo VIIRS-DNB como um proxy medição em Uganda.

### 3.3 VIIRS-DNB: Uma grande melhoria em relação ao DSMP-OLS

Apesar das deficiências associadas aos dados DMSP-OLS em relação ao espaço e ao tempo resolução em pesquisas anteriores, muitos estudos anteriores não tiveram acesso a outra fonte de dados de luz noturna. Isso porque até 2011, o DMSP-OLS era o único sistema coletando dados de imagens da Terra com pouca luz. Em 2011, o primeiro Suomi National Polar Satélite de parceria (SNPP) que transporta o conjunto de radiômetros de imagem infravermelha visível (VIIRS) instrumento foi lançado. Semelhante ao DMSP-OLS, o VIIRS carrega uma banda espectral, a Banda dia/noite (DNB), que captura dados de imagem padrão durante o dia e imagens com pouca luz dados à noite. Os dados de luz noturna capturados pelo VIIRS-DNB são amplamente considerados melhoria tremenda em relação ao DMSP-OLS, especialmente em termos de resolução espacial (Elvidge et al., 2013). Uma comparação mais detalhada dessas duas fontes de dados será apresentados na seção Dados abaixo.

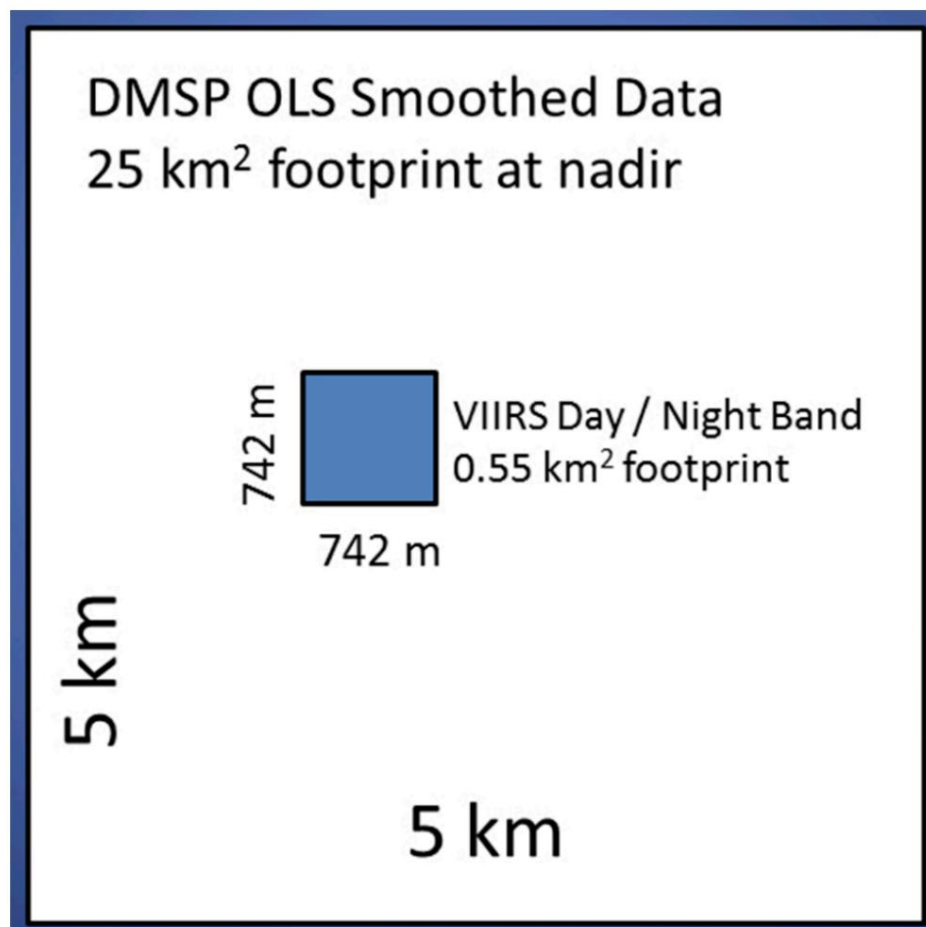
Ao abordar as deficiências relativas à qualidade dos dados sobre a luz noturna em estudos anteriores estudos através do sensor VIIRS-DNB mais novo e muito superior, este artigo tenta confirmar e melhorar os resultados anteriores quanto à validade dos dados de luz noturna como um medição por procuração.

## 4. DADOS

### 4.1 VIIRS-DNB

As imagens noturnas capturadas pelo VIIRS-DNB oferecem uma melhoria substancial em relação às aquelas capturadas pelo DMSP-OLS em termos de resolução espacial, faixa dinâmica e calibrações<sup>12</sup>.

As imagens noturnas são capturadas pelo VIIRS-DNB em uma pegada terrestre de 742 x 742 m, comparado com a pegada de solo de 5 km x 5 km do DMSP-OLS. O pixel VIIRS-DNB footprint<sup>13</sup> é, portanto, 45 vezes menor que a pegada de pixel DMSP-OLS (veja *Figura 1*).

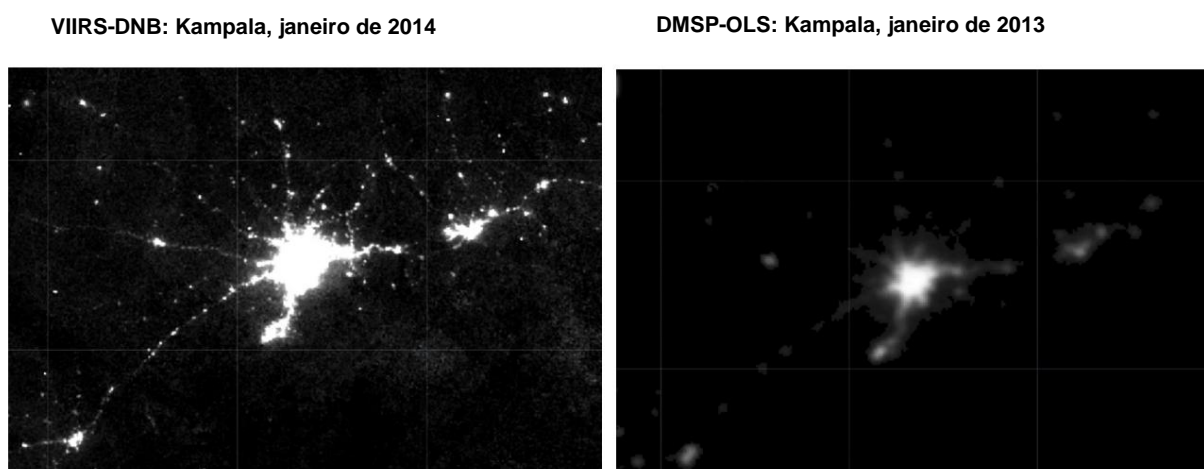


**Figura 1.** Comparação da pegada de pixels com a qual os dados VIIRS-DNB e DMSP-OLS são coletados. Fonte: Elvidge, CD, Baugh, KE, Zhizhin, M., & Hsu, FC (2013).

<sup>12</sup> A faixa dinâmica refere-se à faixa de luz que o sensor é capaz de capturar, uma faixa dinâmica mais alta significa que o sensor captura imagens com maior contraste entre os tons mais claros e mais escuros. Em termos de calibração, o VIIRS-DNB inclui um difusor solar que o DMSP-OLS não possui, usado para calibrar dados diurnos, o que pode ser estendido para imagens com pouca luz.

<sup>13</sup> A pegada de pixel é interpretada como o tamanho efetivo de um pixel em uma imagem capturada no nível do solo.

Para ilustrar a superioridade do produto VIIRS-DNB, foi feita uma comparação entre VIIRS-DNB e DMSP-OLS foi feito, usando um script escrito em Python. Os dados de ambas as fontes foram processado de forma idêntica, usando uma imagem composta livre de nuvens<sup>14</sup> para o mês de janeiro para o anos de 2013 (DMSP-OLS) e 2014 (VIIRS-DNB). A *Figura 2* mostra uma comparação lado a lado da imagem VIIRS-DNB versus imagem DMSP-OLS para a capital de Uganda, Kampala, no mês de janeiro de 2013 e 2014. Embora as imagens tenham sido tiradas com um ano de diferença, portanto, deve-se considerar uma diferença nas luzes noturnas entre as duas imagens, a vasta detalhes superiores do produto VIIRS-DNB ainda são claramente visíveis.



**Figura 2.** Comparação lado a lado de VIIRS-DNB e DMSP-OLS.

Na análise, os dados do VIIRS-DNB para os anos de 2014 a 2020 serão coletados por meio de API do Google Earth Engine (GEE) do Google usando Python. O GEE oferece acesso a muitos satélites produtos de imagens, incluindo DMSP-OLS e VIIRS-DNB, com o benefício adicional de ser capaz de acessar a infraestrutura digital do Google e realizar cálculos extensivos sobre esses conjuntos de dados. As 'luzes noturnas' serão medidas como a soma de todos os valores médios de radiância do DNB para cada mês, expresso em termos de nanowatts por centímetro quadrado por esterradiano<sup>15</sup>. Isto a medição será chamada de Soma de Luzes (SOL). Quando acessado inicialmente, o os dados da imagem são armazenados em um formato raster<sup>16</sup>, no entanto, esses dados serão convertidos em números valores para facilitar a análise.

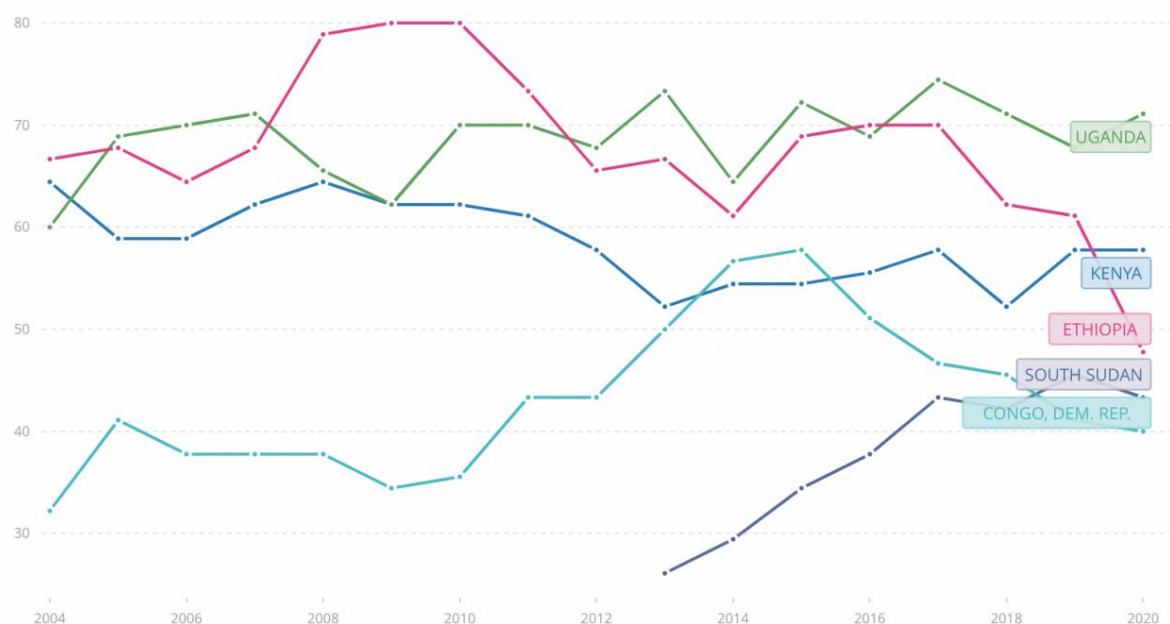
<sup>14</sup> Uma composição sem nuvens refere-se a uma imagem composta de todas as imagens tiradas pelo VIIRS-DNB durante uma mês individual, excluindo cobertura de nuvens.

<sup>15</sup> O esterradiano, ou radiano quadrado, é a unidade do SI para ângulo sólido e é frequentemente usado em geometria

<sup>16</sup> tridimensional. Raster é um dos principais formatos de arquivo para imagens digitais. Um arquivo raster armazena uma imagem bidimensional como uma matriz retangular de células de tamanhos iguais, onde cada célula está associada a uma região geográfica e o valor nessa célula representa alguma característica dessa região.

## 4.2 Indicadores

Para medir a relação entre os dados de luz noturna do VIIRS-DNB e a situação econômica indicadores, um conjunto de indicadores considerados importantes para a compreensão do desenvolvimento, atividade econômica e estado geral de saúde de uma nação foram selecionados para os anos de 2014 até 2020. Os indicadores; Produto Interno Bruto (PIB), PIB per capita, Vida Expectativa de vida, taxa de mortalidade infantil, acesso à eletricidade e população urbana total foi escolhido para Uganda. Conforme mencionado na seção Introdução, Uganda foi escolhido tanto pelo seu estatuto de nação em desenvolvimento, em combinação com o seu elevado nível de capacidade estatística<sup>17</sup> em relação a outras nações da África Subsaariana, como pode ser visto na *Figura 3*. Todos os indicadores foram obtidos do Banco Mundial e são medidos anualmente e disponíveis a nível nacional. A seguir, uma breve apresentação de cada unidade de indicadores a medição e a relevância seguirão.



**Figura 3.** Uma comparação direta entre a Pontuação de Capacidade Estatística do Banco Mundial para Uganda e uma seleção arbitrária de nações da África Subsaariana. Fonte:

<https://data.worldbank.org/indicator/IQ.SCI.OVRL>

<sup>17</sup> Conforme medido pela Pontuação de Capacidade Estatística do Banco Mundial

#### 4.2.1 PIB e PIB per capita

Tanto o PIB quanto o PIB per capita são medidos em dólares americanos constantes de 2015. Ambos os indicadores foram medidos a partir de dados das contas nacionais do Banco Mundial e das Contas Nacionais da OCDE arquivos de dados. O PIB é medido como a soma total de todo o valor adicionado pelos produtores na economia, mais quaisquer impostos sobre produtos e menos quaisquer subsídios não incluídos no valor dos produtos, e O PIB per capita é simplesmente a mesma medida dividida pela população. Essas medidas foram convertidos da moeda nacional de Uganda para valores em dólares usando o modelo oficial de 2015 taxas de câmbio. No entanto, como esta análise comparará apenas o mesmo país em tempo, essa conversão não é estritamente necessária.

O PIB e o PIB per capita foram escolhidos porque representam métodos confiáveis de medição o crescimento de uma economia, além de fornecer informações sobre o nível de renda de seus residentes. Uma vez que o crescimento de uma economia é medido pela variação da produção ou do rendimento real dos seus residentes, ambos os indicadores fornecem um meio de medir o desenvolvimento geral do Uganda economia ao longo do tempo, bem como estudar se o desenvolvimento das luzes noturnas reflete o da a economia do país.

#### 4.2.2 Expectativa de vida e taxa de mortalidade infantil

A esperança de vida ou esperança de vida ao nascer, é medida em anos e indica a expectativa de vida número de anos que um recém-nascido viverá, desde que os padrões gerais de mortalidade no momento o momento do nascimento permanece o mesmo ao longo da vida. A taxa de mortalidade infantil é medida como número de crianças que morrem antes de completar um ano de idade, por 1.000 nascidos vivos.

As taxas de mortalidade e a esperança de vida fornecem uma indicação geral do estado de saúde de uma população. país, além de estar entre os indicadores mais utilizados para comparar desenvolvimento socioeconômico entre os países. Esses indicadores foram escolhidos para investigar se existe alguma relação entre as luzes noturnas e a saúde geral status de um país ao longo do tempo. Observe que a presunção aqui não é que uma maior intensidade de luz à noite cria uma população mais saudável, mas sim que o aumento da intensidade da luz noturna indica aumento do desenvolvimento socioeconômico, que por sua vez está associado a uma melhor saúde status.



#### 4.2.3 Acesso à eletricidade e população urbana total

O acesso à eletricidade é medido como a porcentagem da população com acesso à eletricidade.

Como é impossível operar uma fábrica, entregar mercadorias, cultivar safras, administrar uma casa aparelhos, ou refrigerar alimentos sem usar alguma forma de energia, a energia se torna quase necessário para permitir o crescimento económico. A eletricidade é, na prática, crucial para muitas necessidades básicas atividades e não podem ser facilmente substituídas por outras formas de energia no nível individual.

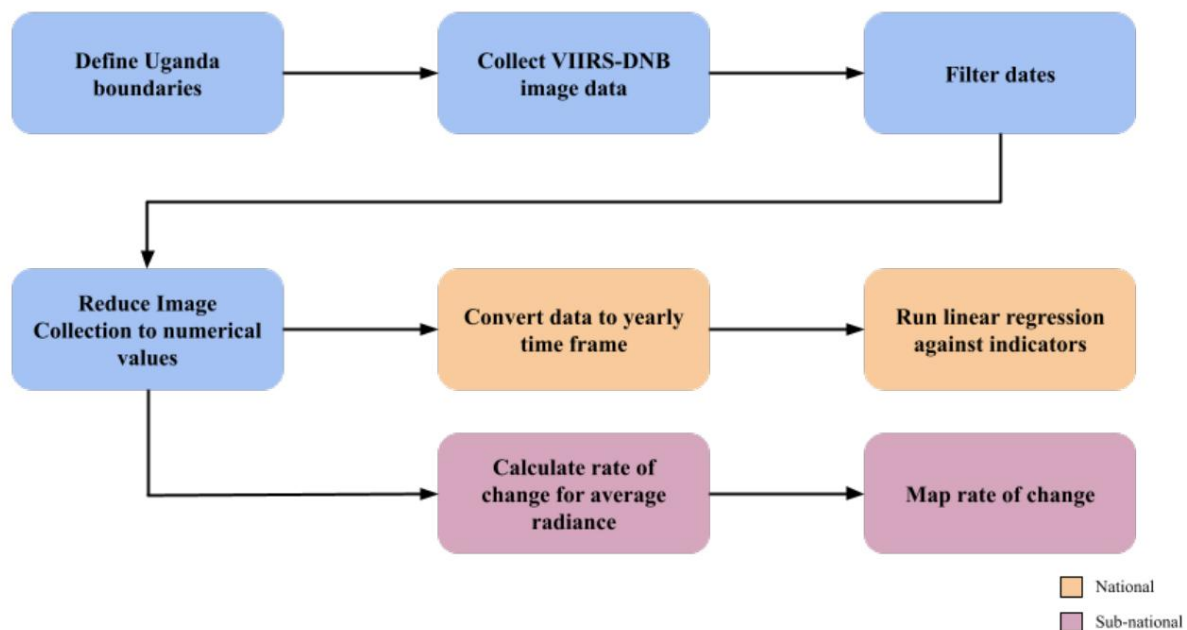
O acesso dos indivíduos à electricidade representa, portanto, um dos indicadores mais importantes para medir o estado energético de um país. Partindo da presunção de que o aumento do acesso a a eletricidade melhora o padrão de vida do indivíduo, este indicador foi escolhido para investigar se existe uma relação entre as luzes noturnas e qual a percentagem de população tem acesso à eletricidade. Vale ressaltar aqui a diferença entre o acesso à eletricidade e consumo elétrico total, uma vez que o consumo elétrico total é assumido como fortemente correlacionado com as luzes noturnas, mas não oferece muitos insights sobre desenvolvimento ou padrões de vida em um país (uma vez que grandes quantidades de consumo de energia podem provêm de fontes individuais que podem não estar a contribuir directamente para o aumento dos padrões de vivendo).

A população urbana total é medida como a quantidade de pessoas que vivem em áreas urbanas conforme definido pelos institutos nacionais de estatística do Uganda. Uma vez que este estudo irá analisar apenas um país, o o número total de indivíduos é usado. No entanto, se alguém estivesse comparando países uns contra os outros outro, a percentagem da população que vive em áreas urbanas seria uma abordagem mais apropriada indicador. Uma vez que o aumento da população urbana significa uma transição demográfica do rural para o urbano, que por sua vez está associado a uma mudança da agricultura para a indústria e a tecnologia, Este indicador fornece uma visão sobre o processo de urbanização de um país. Ao estudar a relação entre esta variável e as luzes noturnas, pode-se obter uma visão de como bem, o desenvolvimento de luzes noturnas mede a urbanização.

Antes de prosseguir, é importante enfatizar que este artigo não reivindica uma relação causal relação entre as luzes noturnas e esses indicadores, uma vez que a relação pode ser argumentado para ir em ambas as direções. Em vez disso, o objetivo é entender até que ponto as luzes noturnas pode servir como um proxy para esses indicadores.

## 5. MÉTODO

A análise deste artigo foi realizada utilizando um algoritmo criado em Python. A análise pode ser dito que consiste em duas partes: uma análise nacional e uma subnacional, com mais análises ênfase colocada no nível nacional. O objetivo da análise em nível nacional é medir a relações entre as luzes noturnas e os indicadores selecionados em Uganda, enquanto o o objetivo da análise a nível subnacional é apoiar-se nos resultados produzidos a nível nacional para explorar onde em Uganda ocorrem mudanças nas luzes noturnas e, por procuração, nas condições socioeconômicas indicadores, ocorreu. A nível nacional, as regressões lineares para luzes noturnas medidos pelo VIIRS-DNB foram conduzidos para cada indicador apresentado no Data seção acima. Para o nível subnacional, um mapa visualizando a taxa de mudança no horário noturno luzes durante o período de 2014 a 2020 foi criado. Esta seção descreverá o metodologia por trás da análise nacional e subnacional em detalhes. Para leitores que procuram para um esboço mais geral da metodologia, foi criado um fluxograma ilustrando como a análise foi conduzida (ver *Figura 4*).

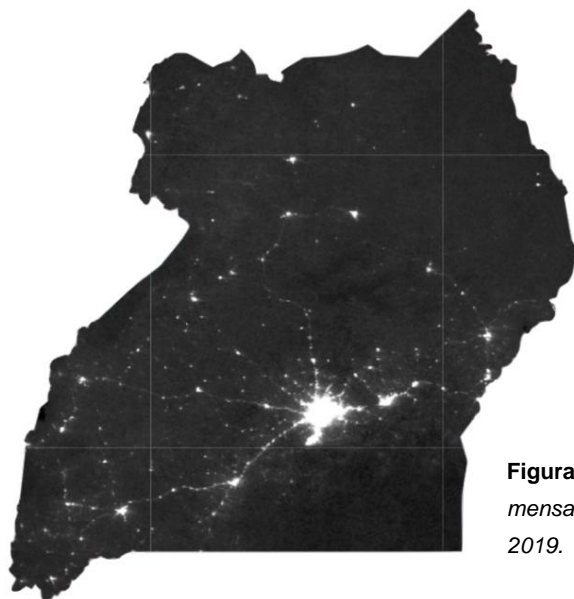


**Figura 4.** Um fluxograma que visualiza o funcionamento do algoritmo utilizado nesta análise. Os estágios azuis são utilizados tanto para a análise nacional quanto para a subnacional, enquanto os estágios laranja são utilizados para a análise nacional e os roxos para a análise subnacional.

## 5.1 Coleta e Conversão de Dados

Para analisar a relação entre as luzes noturnas e os indicadores selecionados, o indicador relevante Os dados VIIRS-DNB devem ser coletados e convertidos em valores numéricos. Conforme mencionado no Seção de dados, isso é feito usando a API GEE, uma biblioteca importada para Python que permite a usuário acesse e calcule qualquer um dos conjuntos de dados disponíveis na plataforma GEE. Uma vez que o GEE A API foi importada e inicializada, um limite nacional (também conhecido como geometria) para Uganda foi criado para especificar qual área do globo os dados VIIRS-DNB devem ser coletados de. Isso é feito para evitar restrições computacionais associadas à coleta Dados VIIRS-DNB para todo o globo. Nesta análise, as fronteiras de Uganda foram definido conforme demonstrado no Relatório Global da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação Conjunto de dados de camadas de unidades administrativas 18. Além disso, os limites para Uganda foram definidos usando uma escala de 500 metros, o que significa efetivamente que as fronteiras de Uganda foram traçadas usando 500 linhas de metros. Embora a escolha da escala ao analisar o mesmo país ao longo do tempo não afetar os resultados, desde que seja mantido consistente, é uma medida a ter em conta quando comparar países entre si, como usar escalas ou tamanhos diferentes de os países podem produzir resultados muito diferentes.

Uma vez definidos os limites para Uganda, os dados VIIRS-DNB são coletados para o limites e datas especificados (2014 a 2020). Aqui, a faixa de radiância média é selecionado, criando uma coleção de imagens compostas mensais mostrando o DNB médio radiância detectada para cada mês no período especificado (ver *Figura 5*).



**Figura 5.** Um exemplo de uma das composições mensais da coleção de imagens produzidas para o ano de 2019.

<sup>18</sup> Disponível em: <https://data.apps.fao.org/map/catalog/srv/api/records/9c35ba10-5649-41c8-bdfc-eb78e9e65654>

Quando coletados inicialmente, os dados da imagem são armazenados em um formato raster, que precisa ser convertidos em valores numéricos para poder realizar uma regressão linear. Os valores numéricos a medição das luzes noturnas escolhidas neste artigo é chamada de Soma de Luzes (SOL).

O SOL representa a soma de toda a radiação média detectada dentro dos limites especificados para um determinado mês<sup>19</sup>. Para calcular o SOL, uma função redutora<sup>20</sup> incorporada à API do GEE é aplicado aos arquivos raster, então uma série temporal é criada contendo o SOL calculado para cada mês fornecido nos dados coletados.

Neste momento, foi produzida uma série temporal mensal para o SOL em Uganda. No entanto, antes que as regressões lineares possam ser realizadas, esta série temporal precisa ser convertida em uma série anual prazo para corresponder aos dados indicadores coletados do Banco Mundial. Isso é feito simplesmente tomando a média SOL para cada 12 meses, resultando em uma série temporal anual para o SOL em Uganda.

## 5.2 Análise de regressão

Para realizar a análise em nível nacional, são realizadas uma série de regressões lineares. Cada

O indicador obtido do Banco Mundial é definido como variável dependente usando a relação:

$$Y = \alpha + \beta \ln(X) + \epsilon$$

Onde se refere ao indicador ou variável dependente em questão, ao intercepto, ao

inclinação da regressão e ao componente de erro. Para cada regressão linear conduzida, o intercepto, a

inclinação, o coeficiente de correlação ( $R$ ), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o valor de  $p$

da regressão é coletada e armazenada na tabela mostrada na seção Resultados.

a variável explicativa para cada regressão é definida como o SOL transformado em logaritmo, ou  $\ln(X)$ . O

O logaritmo do SOL foi usado como variável explicativa principalmente para fins de interpretação

resulta de forma clara, usando  $\ln(X)$  como variável explicativa permite a inclinação, ou de uma

regressão, a ser interpretada como o aumento associado em  $Y$  quando o SOL aumenta em um

por cento. Da mesma forma, certos indicadores que apresentam um crescimento exponencial ou não linear têm

também foi transformado em logaritmo. Os indicadores transformados são os seguintes: *PIB*, *PIB por per capita* e *População Urbana*.

<sup>19</sup> Ao trabalhar com o mesmo país ao longo do tempo, o SOL é uma medida apropriada. No entanto, se compararmos países entre si, a média da radiação média seria uma medida mais apropriada.

<sup>20</sup> Uma função pré-escrita em Python que reduz todos os arquivos raster na coleção de imagens à soma de todas as médias valores de radiação em cada "célula" do arquivo raster.

Os valores coletados de cada regressão serão usados para determinar e interpretar a relação entre as luzes noturnas e seus respectivos indicadores. A interceptação e a inclinação é usada para determinar a natureza da relação, enquanto o coeficiente de correlação, coeficiente de determinação e o valor *de p* serão usados para determinar a força e significado do relacionamento.

### 5.3 Mapa da Taxa de Mudança

Para a análise a nível subnacional, um mapa que visualiza a taxa de variação da radiância média para todo o país de Uganda é criado. Isso é feito subtraindo o último composto imagem na coleção (dezembro de 2020) com a primeira imagem composta (janeiro de 2014), depois dividindo o resultado pelo número total de imagens na coleção (84 imagens para 84 meses). Isso resulta em um arquivo raster contendo a “inclinação” ou taxa de mudança para cada pixel durante este período, que é então, usando Python, convertido em um mapa interativo mostrando onde em A radiância média de Uganda aumentou ou diminuiu. Devido à alta resolução espacial de VIIRS-DNB, o que permite ao observador observar a taxa de variação até o nível da vizinhança<sup>21</sup>. Como mencionado acima, nenhuma análise numérica adicional foi realizada em nível subnacional. A análise a nível subnacional visa, em vez disso, ilustrar o potencial aplicações de tal mapa, apoiando-se nas relações mostradas no nível nacional para identificar com precisão as áreas de um país onde uma mudança nas luzes noturnas e, por procuração indicadores socioeconômicos, ocorreu.

---

<sup>21</sup> Aproximadamente 1 km por 1 km.

## 6. RESULTADOS

Esta seção apresentará e explicará os resultados de ambas as análises apresentadas no Método seção acima. Para o nível nacional, os resultados e coeficientes de cada regressão linear serão apresentados e interpretados, enquanto os resultados a nível subnacional serão apresentados de uma forma de forma mais exploratória, interpretando alguns exemplos ilustrativos encontrados nos dados gerados mapa.

### 6.1 Resultados em nível nacional

Os resultados de cada regressão individual realizada podem ser vistos na *Tabela 1*. Conforme mencionado em na seção Método, mas não visto na tabela, o SOL transformado em log foi usado como variável explicativa para cada regressão realizada.

	Variável dependente					
	<i>ln(PIB)</i>	<i>ln(PIB per capita)</i>	<i>Expectativa de vida</i>	<i>Mortalidade infantil</i>	<i>Acesso a eletricidade</i>	<i>ln(População urbana)</i>
<b>Declive</b>	0,127 (0,041)	0,027 (0,013)	1.409 (0,386)	-4,117 (1.098)	13.346 (3.488)	0,168 (0,047)
<b>Interceptar</b>	22.789 (0,481)	6.439 (0,155)	45.657 (4.583)	84.757 (13.036)	-126.352 (41.416)	14.079 (0,560)
<b>R</b>	0,814	0,680	0,853	-0,859	0,863	0,847
<b>R2</b>	0,662	0,462	0,727	0,738	0,745	0,717
<b>Significado nível</b>	**	*	**	**	**	**
<b>Amostra significar</b>	24.293	6.761	62.371	35.929	31.917	16.071
<b>Número de observações</b>	7	7	7	7	7	7

**Tabela 1.** Resultados das regressões lineares realizadas nos indicadores selecionados.

Os erros padrão são mostrados entre parênteses. Nota:  $p < 0,1$ :\*,  $p < 0,05$ :\*\*,  $p < 0,01$ :\*\*\*

Trabalhando da esquerda para a direita, começando com  $\ln(PIB)$ , podemos ver que a regressão tem resultado numa inclinação de 0,127, o que implica que um aumento de um por cento no SOL no Uganda é associado a um aumento de 0,127% no PIB do país. Além disso, a correlação coeficiente, ou valor R entre as duas variáveis é 0,814, o que significa uma forte correlação positiva entre as variáveis. Finalmente, com um valor R<sup>2</sup> de 0,662, o que significa que aproximadamente 66% da variância em  $\ln(GDP)$  pode ser explicada pelo SOL, bem como um valor de p de 0,026, pode-se concluir que existe uma relação positiva substancial e significativa entre a SOL e PIB em Uganda.

Quando a variável dependente é definida como o logaritmo do PIB per capita de Uganda, a regressão resulta em uma inclinação de 0,027, o que significa que um aumento de um por cento no SOL está associado a um Aumento de 0,027% no PIB per capita. Um valor R de 0,680 e um R<sup>2</sup> de 0,462 indicam que embora exista algum tipo de relação positiva entre o SOL e o PIB per capita, não é tão forte quanto a relação entre o SOL e o PIB de Uganda. incerteza quanto à força e existência de uma relação positiva entre SOL e O PIB per capita é ainda confirmado pelo valor de p relativamente alto das regressões, de 0,09.

Definir a Expectativa de Vida como variável dependente resulta em uma inclinação de 1,409, mostrando que uma um aumento de um por cento no SOL para Uganda está associado a um aumento de aproximadamente 1,4 anos em esperança de vida ao nascer. Além disso, um coeficiente de correlação de 0,853, bem como um valor R<sup>2</sup> de 0,727 demonstra a força dessa relação. Um valor de p de 0,014, em combinação com alta Os valores de R e R<sup>2</sup> permitem concluir a existência de uma ligação positiva substancial entre o SOL e a expectativa de vida em Uganda.

A regressão linear da taxa de mortalidade infantil resulta numa inclinação de -4,11, o que implica que uma aumento percentual no SOL está associado a uma diminuição de aproximadamente 4 mortalidades infantis por 1.000 nascidos vivos em Uganda. O valor R de -0,859 indica uma forte relação negativa entre as variáveis, o que é apoiado ainda pelo R<sup>2</sup> de 0,738 e valor de p de 0,013.

No que diz respeito à relação entre o SOL e o acesso à eletricidade, os resultados de a regressão indica uma relação positiva substancial, com uma inclinação de 13,346, implicando que um aumento de um por cento no SOL está associado a um aumento de aproximadamente 13% no parcela da população com acesso à eletricidade. Embora os altos valores de R e R<sup>2</sup> de 0,863 e 0,745 respectivamente falam da força da relação e do baixo valor de p de

0,012, vale destacar a interceptação de -126,352. Essa grande interceptação negativa efetivamente implica que se não houvesse iluminação noturna no Uganda, -126% da população têm acesso à eletricidade, o que é, obviamente, altamente irrealista. Apesar dos outros resultados de a regressão indicando uma conexão forte e significativa existente entre o SOL e Acesso à eletricidade em Uganda, o valor de interceptação altamente irrealista ilustra os perigos de usar tamanhos de amostra tão pequenos para prever valores desconhecidos.

Finalmente, em relação à População Urbana total, a versão logarítmica transformada da população dependente variável é usada, uma vez que se supõe que a população urbana cresça a uma taxa exponencial<sup>22</sup>. A regressão linear em  $\ln(\text{População Urbana})$  resulta em uma inclinação de 0,168, o que significa que um aumento percentual no SOL está associado a um aumento de 0,168% na quantidade de indivíduos vivendo em áreas urbanas. Um valor de R de 0,847 e um R<sup>2</sup> de 0,717 falam a favor da existência de uma forte relação positiva entre o SOL e a População Urbana, o que é ainda mais corroborado por um valor de p de 0,016 para a regressão.

Em resumo, as regressões lineares conduzidas para a análise a nível nacional deste artigo revelam relações substanciais e positivas entre o SOL e o PIB, a esperança de vida, o acesso a Eletricidade e População Urbana em Uganda. Além disso, a análise encontra uma forte relação negativa entre o SOL e a Taxa de Mortalidade Infantil. Finalmente, embora esta a análise encontra indícios de uma potencial relação positiva entre o SOL e o PIB per capita no Uganda, em termos de R, R<sup>2</sup> e valor de p, esta relação não pode ser considerada como forte ou substancial como os outros.

---

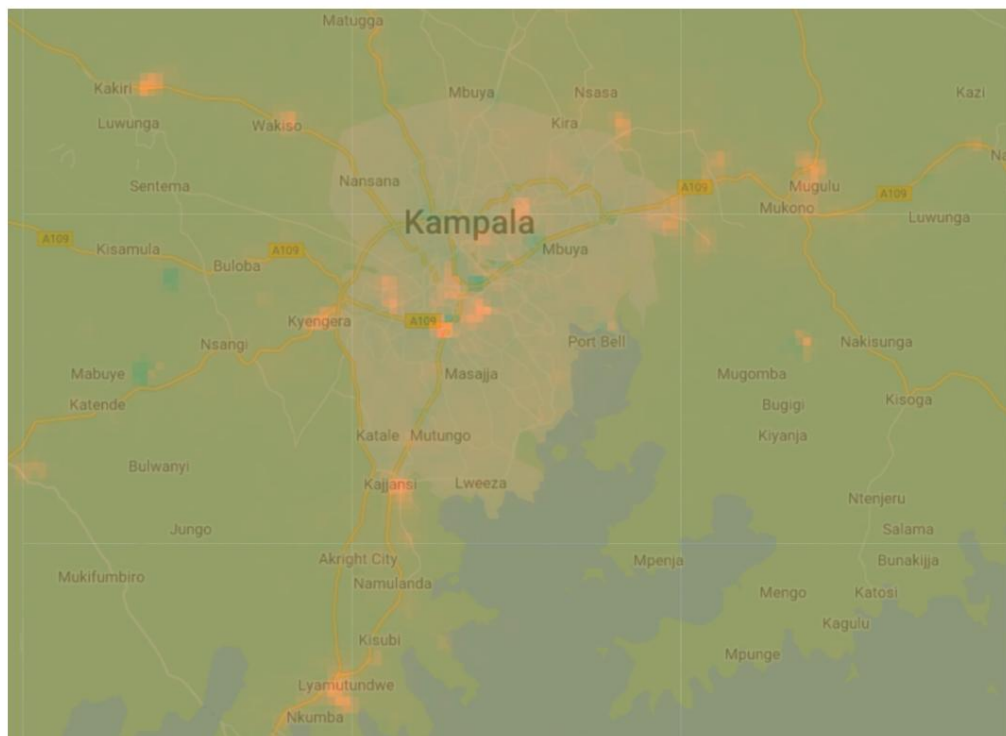
<sup>22</sup> Essa suposição é feita a partir da exploração inicial dos dados fornecidos pelo Banco Mundial.



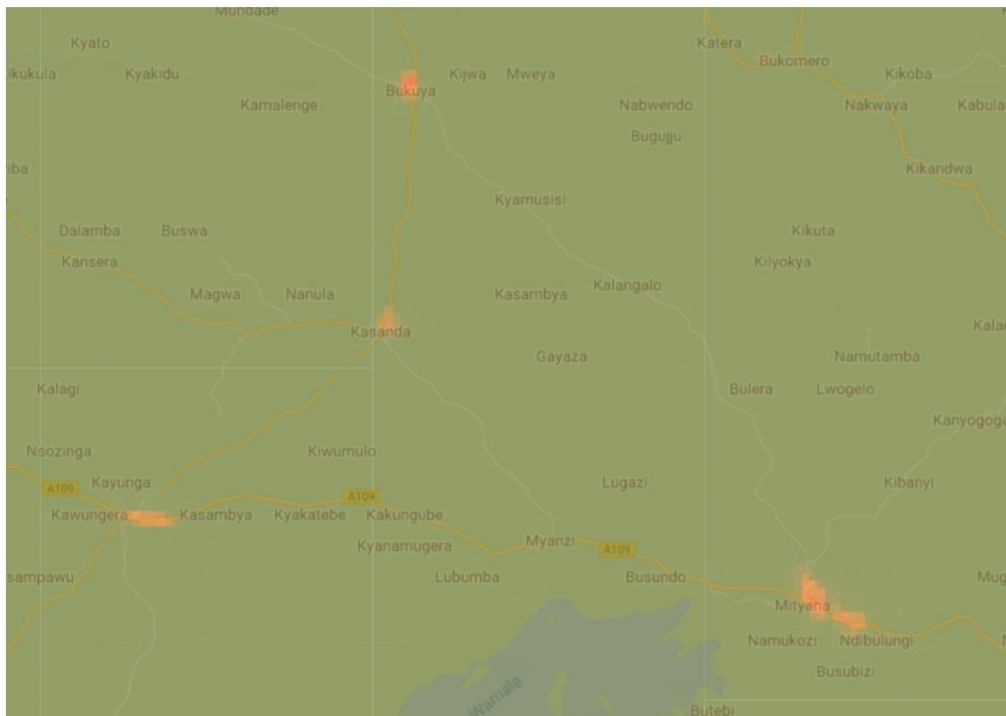
## 6.2 Resultados a nível subnacional

Como mencionado anteriormente, o objetivo da análise a nível subnacional é desenvolver a partir da resultados encontrados em nível nacional para fazer inferências sobre o desenvolvimento de menores regiões do Uganda. Com base nos resultados encontrados a nível nacional, pode-se assumir que um aumento no SOL durante o período 2014-2020 estará associado a um aumento em PIB, Expectativa de Vida, Acesso à Electricidade e População Urbana, bem como uma diminuição da Taxa de Mortalidade Infantil. De forma mais ampla, assume-se que um aumento na SOL é associado a um aumento da produção económica, do estado de saúde e do padrão de vida. É sobre essas suposições que o mapa criou visualizando a taxa de mudança do SOL em Uganda será explorado.

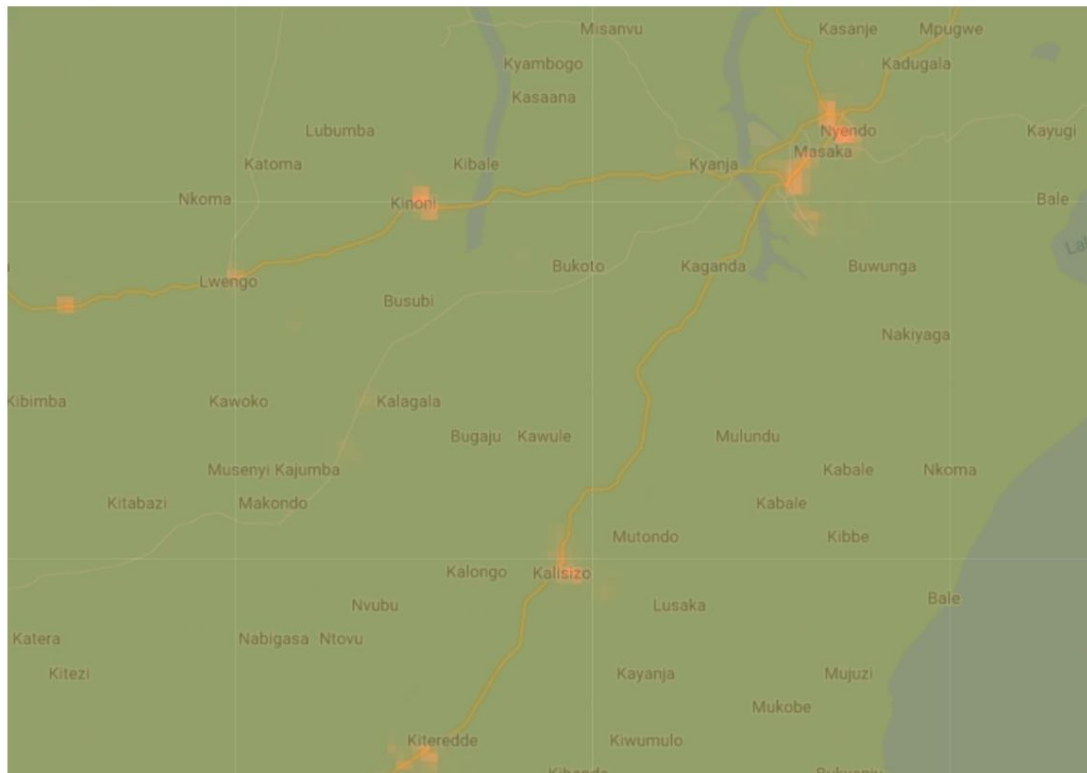
O mapa que visualiza a taxa de mudança foi codificado por cores para ilustrar quais áreas visto um aumento ou diminuição, onde os pixels vermelhos indicam um aumento total no SOL durante o período 2014-2020, e os pixels azuis indicam uma diminuição. A intensidade da cor dos pixels indica o quão drástica foi a mudança, com um vermelho ou azul mais intenso indicando uma mudança mais mudança rápida no SOL. Como a mudança é visualizada no nível do pixel, a alta densidade espacial A resolução do VIIRS-DNB permite que o visualizador veja as mudanças até o nível de bairro, no entanto, isso também significa que é extremamente difícil fornecer uma visualização de todo o país de Uganda, pois o mapa pareceria em branco sem ampliando pelo menos até o nível da cidade. Portanto, a decisão foi tomada para mostrar apenas certas áreas de exemplo do mapa gerado consideradas interessantes para o propósito desta tese. Esses exemplos podem ser vistos na *Figura 6*, *Figura 7*, *Figura 8* e *Figura 9*, com mais detalhes exemplos para os interessados estão disponíveis no Apêndice.



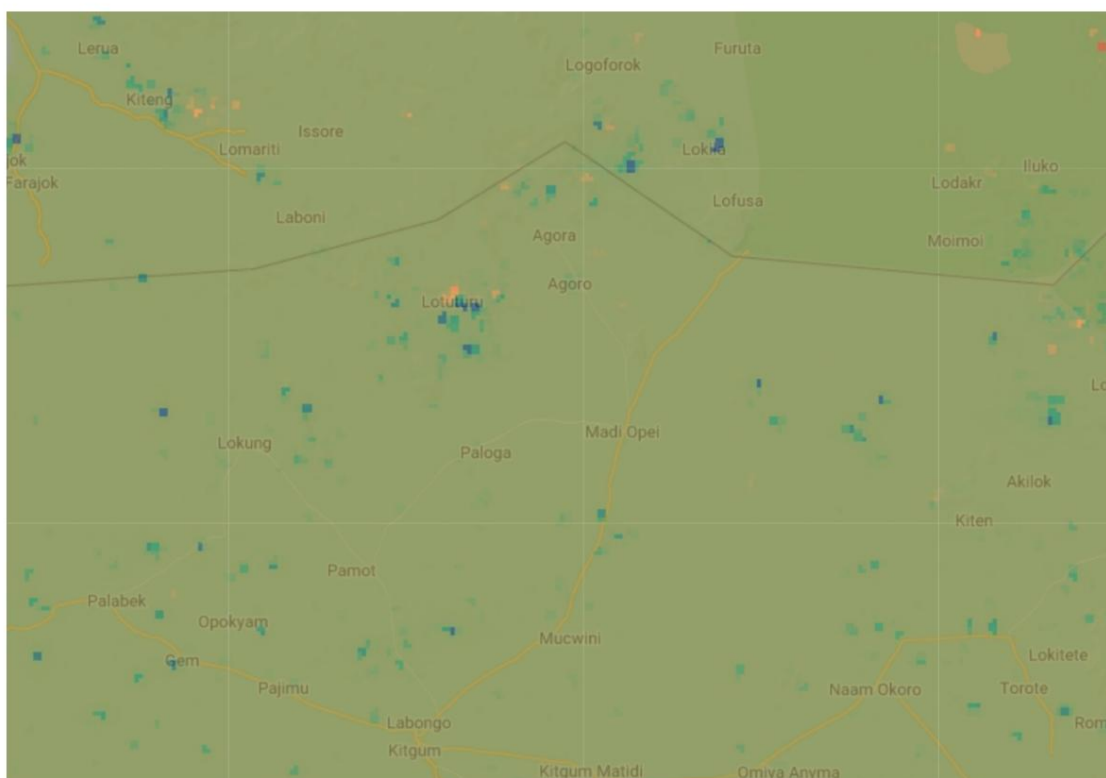
**Figura 6.** Mapa da taxa de variação centralizado na capital Kampala. Pixels vermelhos indicam taxa de variação positiva, pixels azuis indicam taxa de variação negativa. Mapa de fundo fornecido pelo Google Maps.



**Figura 7.** Mapa da taxa de mudança centrado a oeste de Kampala, ao norte do Lago Wamala.



**Figura 8.** Mapa da taxa de variação localizado a sudoeste de Kampala. Rodovia superior que eventualmente leva a Ruanda e rodovia inferior que leva à Tanzânia (ambas marcadas em amarelo).



**Figura 9.** Mapa da taxa de variação localizado ao sul da fronteira entre Uganda e Sudão do Sul. A parte superior da figura mostra o lado sul-sudanês da fronteira.

Começando pela capital Kampala, vista na *Figura 6*, pode-se observar que houve uma taxa de variação positiva do SOL concentrada no centro da cidade, bem como em muitas das cidades ao longo das principais redes rodoviárias que saem da capital. Na verdade, parece haver houve uma mudança maior no SOL em muitas dessas cidades do que em áreas centrais Kampala, o que implica que a maior parte da actividade económica, do desenvolvimento e do crescimento na área está ocorrendo ao longo dos arredores da cidade.

Continuando para oeste – sudoeste ao longo de algumas das principais redes rodoviárias que partem de Kampala em direção à Tanzânia, Ruanda e República Democrática do Congo (RDC), pode-se ver a taxa positiva de variação do SOL para muitas das cidades e vilas localizadas ao longo destas estradas, com a maior parte do crescimento ocorrendo em cidades onde duas ou mais grandes estradas se cruzam, como visto nas *Figuras 7 e 8*. Uma grande parte da mudança positiva no SOL em Uganda parece estar concentrada em torno dessas redes rodoviárias que levam de oeste para sudoeste, o que implica que grande parte do crescimento, da actividade económica e do desenvolvimento da nação está a ocorrer ao longo dos corredores de transporte que levam aos vizinhos ocidentais e meridionais de Uganda.

Por outro lado, a tremenda diminuição do SOL para muitas áreas localizadas perto ou ao longo da fronteira com o Sudão do Sul pode ser vista na *Figura 9*. Ao contrário da fronteira com a Tanzânia, Ruanda ou RDI, esta área tem sido devastada por conflitos desde 2013<sup>23</sup>, e a devastadora os efeitos de um conflito ativo na atividade econômica, na saúde e no desenvolvimento podem ser vistos claramente através da diminuição associada do SOL na maioria dos assentamentos localizados em ambos os lados da fronteira.

Embora estes exemplos abranjam apenas pequenas porções de todo o país do Uganda, podem ser vistos como exemplos das informações que tal mapa fornece. Com base nos resultados encontrados em a nível nacional, indicando fortes ligações entre o SOL e a produção económica, estado de saúde e padrão de vida, este mapa permite ao observador ver onde houve mudança nestes áreas ocorreu. Com os exemplos apresentados acima e os resultados encontrados no nível nacional nível, este mapa foi usado para identificar locais subnacionais específicos onde os resultados positivos ocorreu mudança no SOL e indicadores associados, bem como locais onde uma mudança negativa ocorreu como resultado de um conflito em andamento.

---

<sup>23</sup> Fonte: <https://www.accord.org.za/conflict-trends/south-sudan-uganda-relations/>

## 7. DISCUSSÃO

Esta seção examinará as conclusões da análise a nível nacional e subnacional em relação à literatura apresentada anteriormente e em relação aos objetivos deste artigo. A partir daí as potenciais limitações da análise deste artigo serão brevemente apresentadas e discutidas, antes de delinear métodos para desenvolver ou melhorar esta análise no futuro.

### 7.1 Nível nacional

Como afirmado anteriormente, o objetivo da análise a nível nacional era investigar a relação entre as luzes noturnas (medidas como SOL) e uma seleção de indicadores socioeconômicos em Uganda. As conclusões da análise a nível nacional apoiam a existência de uma forte e relações substanciais entre o SOL e o PIB, a Expectativa de Vida, a Taxa de Mortalidade Infantil, Acesso à eletricidade e população urbana. A existência dessas relações e a os valores medidos para determinar a sua resistência, falam a favor da aplicabilidade da luz noturna luzes medidas pelo VIIRS-DNB como um proxy eficaz para esses indicadores. Novamente, é importante notar que este artigo não afirma a existência de uma relação causal entre luzes noturnas e indicadores socioeconômicos, uma vez que se pode argumentar que a relação vai em ambos os sentidos<sup>24</sup>. É devido a este problema de causalidade reversa que uma declaração causal a respeito a natureza da relação entre as luzes noturnas e os indicadores socioeconômicos não pode ser feito. Em vez disso, o objetivo final desta análise é entender até que ponto a noite-as luzes do tempo podem servir como um proxy para esses indicadores.

Em relação aos resultados de estudos anteriores apresentados na seção Revisão da Literatura, o As conclusões da análise deste artigo confirmaram muitos dos resultados anteriores. Embora o a análise a nível nacional não oferece previsões sobre valores futuros devido ao pequeno tamanho da amostra apenas 7 medições, os resultados desta análise confirmam descobertas anteriores apresentadas no Revisão de literatura sobre a capacidade de mensurar população urbana, PIB e fatores correlatos indicadores de saúde usando luzes noturnas como proxy. Além disso, esta análise encontra uma relação entre o acesso à eletricidade e a iluminação noturna que não foi apresentada em literatura anterior, mas com base nas descobertas relativas a outros indicadores, é seguro assumir que estudos anteriores teriam encontrado uma relação semelhante usando o DMSP-OLS. No entanto, embora este artigo encontre relações usando novos dados VIIRS-DNB semelhantes às encontradas

---

<sup>24</sup> Por exemplo, que o aumento da produção econômica provoca maiores emissões de luz à noite, ou que o aumento da luz emissões noturnas indicam aumento da atividade econômica, o que por sua vez aumenta a produção econômica.

usando o DMSP-OLS, as relações encontradas neste artigo não podem ser classificadas como mais fortes ou mais precisas do que aqueles encontrados na literatura anterior em termos de valores de  $R$  ou  $R^2$ . Acredita-se que isso por algumas razões, em primeiro lugar, a novidade dos dados VIIRS-DNB traz consigo a desvantagem de que a quantidade de dados disponíveis para realizar análises é muito menor do que a do DMSP-MCO, e segue-se logicamente que um tamanho de amostra maior só pode beneficiar a precisão de um regressão linear. Além disso, este artigo conduziu um pré-processamento mínimo do VIIRS-Dados do DNB em comparação com o pré-processamento conduzido em muitos dos estudos que utilizam o DMSP-OLS. Filtrar ruído e limpar dados de forma mais eficaz pode oferecer grande melhorias nos resultados da análise relacionada. Com a resolução espacial amplamente superior do VIIRS-DNB mostrado na seção Dados, pode-se supor que à medida que mais dados se tornam disponíveis, em combinação com pré-processamento de dados mais detalhado, resultados de estudos semelhantes o uso do VIIRS-DNB no futuro deve exceder aqueles encontrados usando o DMSP-OLS.

Em suma, apesar das relações encontradas na análise a nível nacional não serem tão tão forte quanto alguns dos resultados de estudos anteriores usando o DMSP-OLS, ele ainda confirma muitos dos as descobertas desses estudos anteriores e a análise atinge seu objetivo principal de medir a relação entre as luzes noturnas e os indicadores socioeconômicos. Além disso, a os resultados apoiam fortemente a conclusão de que as luzes noturnas, medidas pelo VIIRS-DNB, pode ser usado como um proxy eficaz para os indicadores investigados.

## 7.2 Nível subnacional

Apoiando-se nos resultados encontrados na análise a nível nacional, o mapa produzido como resultado da análise de nível subnacional permite ao observador investigar e identificar áreas onde uma mudança nas luzes noturnas e, por procuração, nos indicadores socioeconômicos selecionados, ocorreu. Conforme mostrado na seção Resultados, o visualizador pode encontrar áreas onde o indicadores socioeconômicos foram impactados positiva ou negativamente e dão uma ideia de como A mudança foi rápida. As aplicações potenciais de tal mapa são muitas, por exemplo, em nas mãos de uma organização humanitária ou organização não governamental, este mapa seria permitir o monitoramento do desenvolvimento de cidades ou bairros individuais e, assim, auxiliar tais organizações na identificação de onde seus recursos são melhor gastos. Além disso, sendo capaz de rastrear o desenvolvimento das luzes noturnas em uma escala tão detalhada permitiria usuário para acompanhar os efeitos gerais de uma política ou iniciativa de pequena escala e direcionada. Por meio nessas aplicações potenciais, o mapa de taxa de mudança fornece o início de uma solução para

combater a questão da má qualidade dos dados, que dificulta grandemente a investigação económica a nível sub-nível nacional em países em desenvolvimento.

Embora o mapa não forneça uma medição numérica para o desenvolvimento da vida noturna, luzes do tempo em pequena escala, usando-o para identificar áreas específicas de interesse permitiria ao usuário em questão para medir com precisão as luzes noturnas para a área identificada com relativa facilidade usando um algoritmo semelhante ao usado para produzir o SOL de nível nacional simplesmente alterando o limite especificado de Uganda para a área de interesse. O acesso a tais a informação seria especialmente útil em áreas onde seria possível monitorizar o desenvolvimento pessoa é difícil ou mesmo impossível, como áreas em conflito ativo. Como mostrado no sub-resultados nacionais, este mapa permite a identificação de áreas numa zona de conflito que têm foram impactados negativamente em termos de iluminação noturna e, por procuração, em termos socioeconômicos indicadores. Embora isso permita obter uma noção geral de quais áreas foram mais afetadas impactados negativamente em termos de iluminação noturna, é importante ter em mente que o desenvolvimento de iluminação nocturna numa zona de conflito pode não ser capaz de servir eficazmente como proxy para outros indicadores. Isso porque a quantidade de luz emitida à noite pode ser altamente impactados por fatores diretamente relacionados ao conflito, como apagões, abandono de assentamentos, e até mesmo a escolha ativa de não ter luzes acesas à noite para não chamar a atenção a ameaças potenciais.

Em suma, conclui-se que a análise subnacional atinge o seu objectivo de construir sobre relações a nível nacional para identificar locais precisos onde as mudanças na situação socioeconómica indicadores foram implementados. Além disso, a análise subnacional demonstra a aplicabilidade das luzes noturnas como meio alternativo de identificação e monitoramento desenvolvimento em nível subnacional.

Para resumir os resultados de ambas as análises, conclui-se que a análise a nível nacional é bem-sucedido na identificação e medição de relações substanciais entre luzes noturnas e uma seleção de indicadores socioeconômicos, além de apoiar a noção de que a noite As luzes do tempo servem como um proxy eficaz para esses indicadores. A análise subnacional explora e demonstra a utilidade das luzes noturnas como meio de combater as dificuldades em realização de pesquisas subnacionais em países em desenvolvimento, bem como as potenciais aplicações dos dados do VIIRS-DNB na medição e monitoramento do desenvolvimento em nível subnacional.

### 7.3 Limitações

Além de algumas pequenas limitações mencionadas ao longo deste artigo<sup>25</sup>, existem algumas principais limitações associadas à análise conduzida e às conclusões tiradas neste artigo que são importantes para ter em mente ao avaliar a aplicabilidade desses resultados na prática, ou ao desenvolver esses resultados em pesquisas futuras.

#### VIIRS-DNB

A primeira limitação diz respeito ao VIIRS-DNB como fonte de dados em si. Apesar do VIIRS-DNB representando uma versão muito melhorada do sensor DMSP-OLS, ainda existem três principais limitações ou desafios que vale a pena considerar ao usar o VIIRS-DNB como fonte de dados de luz noturna. Em primeiro lugar, como mencionado na discussão a nível nacional, o VIIRS-DNB é ainda é um sensor relativamente novo e, como resultado, algoritmos para pré-processamento eficaz de dados ou transformar os dados brutos noturnos em uma ferramenta de pesquisa poderosa ainda não teve tempo de desenvolver. No caso deste artigo, um algoritmo foi escrito em Python para obter, pré-processar e analisar os dados VIIRS-DNB em si, no entanto, isso implica quão bem os dados são pré-processados depende do nível de programação do pesquisador. Além disso, para replicar ou desenvolver as descobertas deste artigo usando o VIIRS-DNB, o pesquisador tem que ser proficiente em pelo menos uma linguagem de programação. No futuro, esperamos que haja uma ampla gama de produtos de iluminação noturna VIIRS-DNB prontos para análise disponíveis para a comunidade de pesquisa, o que serviria para aumentar a acessibilidade a uma fonte tão poderosa de Informação.

Em segundo lugar, embora seja considerado uma grande melhoria em relação ao DMSP-OLS, o VIIRS-DNB ainda era, como o DMSP-OLS, projetado para ser um satélite meteorológico. Com pouca luz imagens destinadas à detecção de nuvens iluminadas pela lua em vez de luzes noturnas, a banda usado para capturar imagens pode incluir comprimentos de onda que não podem ser vistos pelo olho humano. Pode-se esperar que no futuro, uma missão de satélite com o propósito expresso de obter imagens noturnas luzes serão lançadas<sup>26</sup>, porém, até então o VIIRS-DNB ainda representa a melhor opção lá fora.

---

<sup>25</sup> Como a escolha de certas medidas que são inadequadas para comparação entre países, ou a escolha de "escala" ao definir limites geográficos que afetam significativamente os resultados.

<sup>26</sup> Como o proposto por Elvidge et al (2007), em: *"The Nightsat mission concept"*. <https://doi.org/10.1080/01431160600981525>



A limitação ou desafio final associado ao VIIRS-DNB como fonte de dados é a sua resolução espacial. Embora seja uma das principais melhorias em relação ao DMSP-OLS (Elvidge et al., 2013), a resolução de 742 x 742 metros ainda é bastante grande, especialmente quando considerando a potencial aplicação dos sensores na detecção de assentamentos humanos muito pequenos ou mapeando a dinâmica urbana em pequena escala.

### 7.3.2 Uso agrícola do solo

Outra limitação associada ao uso de luzes noturnas como um proxy para fatores socioeconômicos indicadores, especialmente nas áreas rurais, é que a medição das luzes noturnas não contabilizar os efeitos positivos da reserva de terras para uso agrícola, uma vez que estas áreas normalmente permanecem escuros durante a noite. Na prática, isso significa que as terras agrícolas são interpretadas como não tendo efeito sobre os indicadores socioeconômicos nas zonas rurais, uma vez que raramente contribui para a quantidade de luz emitida à noite. Embora o desenvolvimento econômico possa frequentemente ser associado com a transição de uma economia baseada na agricultura para uma economia industrial, o impacto positivo Os efeitos da agricultura, especialmente a nível subnacional, não podem ser ignorados. Um potencial método de contabilização desses efeitos, semelhante à estrutura usada por Keola et al. (2015), seria combinar dados de luz noturna com outras fontes de imagens de satélite diurnas dados, no entanto, este tópico será explorado mais detalhadamente na seção Pesquisa Futura abaixo.

### 7.3.3 Transferibilidade para outros países

Por fim, como apontado por Ebener et al. (2005), é importante ter em mente que, embora parece existir uma relação significativa entre as luzes noturnas e o nível socioeconômico indicadores nos países em desenvolvimento, esta relação quebra-se à medida que uma nação atinge níveis mais elevados níveis de desenvolvimento. Poderíamos chegar à mesma conclusão logicamente considerando que enquanto a diferença nas luzes noturnas entre, por exemplo, Nairobi e Kampala pode ser presumivelmente reflecte a diferença na produção económica, o mesmo não se pode dizer de Estocolmo e Copenhague. Após um certo nível de desenvolvimento, o crescimento das luzes noturnas não parece não refletir mais o crescimento dos indicadores socioeconômicos relacionados e, embora o A principal aplicação das luzes noturnas como proxy é no contexto de um país em desenvolvimento, é importante ter em mente o estado de desenvolvimento de um país ao conduzir projetos futuros pesquisa, pois o limite exato para esse fenômeno não está bem definido.

## 7.4 Pesquisa futura

Ao escrever este artigo e conduzir sua análise, alguns tópicos foram identificados que, embora fora do escopo deste artigo, foram considerados interessantes como assunto de análises futuras. Esta seção abordará brevemente algumas dessas áreas e proporá métodos potenciais de conduzindo análises futuras para construir e melhorar a apresentada neste artigo.

Em primeiro lugar, conforme mencionado na seção Limitações acima, as luzes noturnas não são responsáveis os efeitos positivos da utilização de terras agrícolas nos indicadores socioeconômicos, nem os efeitos positivos efeitos no meio ambiente da reserva de terras para fins de recursos naturais ou biodiversidade.

Um método potencial para incorporar esses efeitos na medição das luzes noturnas seria usar no futuro uma combinação de fontes de dados de satélite para mesclar dados noturnos dados de luzes com dados de cobertura do solo que podem identificar terras reservadas para agricultura e silvicultura para investigar o quão bem esta fonte de dados combinada mede indicadores socioeconômicos. coisas um passo adiante, poder-se-ia potencialmente tentar quantificar os efeitos positivos de uso de terras agrícolas em indicadores socioeconômicos usando apenas dados de satélite de cobertura de terra, e em seguida, combine isso com dados de luz noturna para estimar um valor “verdadeiro” dos indicadores com base em esses efeitos. Para saber mais sobre essa abordagem, veja o estudo conduzido por Keola et al. (2015) encontrado na seção Referências.

Em segundo lugar, ao praticar inicialmente o trabalho com dados de satélite noturnos em Python e antes de decidir sobre Uganda como tema de estudo para este artigo, algumas considerações lineares básicas foram realizadas regressões no SOL e no PIB em outros países da África Subsaariana. Inicialmente, parecia que a inclinação em relação ao efeito do log-SOL no PIB era muito semelhante tanto para o Quênia como para o Uganda, no entanto, isto não foi investigado mais aprofundadamente, uma vez que o foco do este artigo era para analisar um único país. No futuro valeria a pena realizar uma análise usando medições de luz noturna mais adequadas para comparação entre países vários países em desenvolvimento para determinar se a relação entre o SOL e o PIB, ou ainda mais indicadores socioeconômicos, poderiam ser generalizados de forma a permitir uma estimativa eficaz destes indicadores em outras nações em desenvolvimento que carecem de indicadores de alta qualidade dados econômicos.

Finalmente, uma área considerada importante para estudos futuros é a quantificação da relação entre luzes noturnas e indicadores socioeconômicos em nível subnacional. Ligeiramente

paradoxalmente, isso exigiria acesso a dados subnacionais de alta qualidade para o país em questão. questão, que não foi possível obter neste artigo e é uma das principais questões em pesquisa econômica que o uso da luz noturna visa combater. No entanto, pode ser possível para produzir um conjunto de dados subnacionais confiáveis, por meio da coleta e combinação cuidadosa de vários sub-pesquisas e censos nacionais. Se for possível encontrar ou produzir um conjunto de dados confiável sobre o sub-nível nacional para um país em desenvolvimento, seria possível investigar a relação entre luzes noturnas e indicadores socioeconômicos para unidades administrativas individuais em um país realizando uma análise semelhante à realizada a nível nacional neste artigo. Se feito corretamente, isso permitiria ao pesquisador medir efetivamente os efeitos que pode ser visto no mapa de taxas de mudança produzido neste artigo, o que mudaria drasticamente melhorar suas potenciais aplicações, como a capacidade de estimar e prever esses efeitos poderia potencialmente substituir a necessidade de dados de censos ou pesquisas no futuro.

## 8. Conclusão

O objetivo deste artigo foi avaliar a eficácia dos dados de luz noturna obtidos do O sensor VIIRS-DNB pode servir como um proxy para indicadores socioeconômicos em Uganda, além para investigar quais melhorias o uso de dados VIIRS-DNB pode oferecer em relação ao DMSP-OLS dados mais amplamente utilizados em pesquisas econômicas. Para atingir esses objetivos, uma série de regressões foram conduzidas em uma seleção de indicadores socioeconômicos usando o logaritmo do Soma calculada de Luzes medidas pelo VIIRS-DNB como variável explicativa. Além disso, foi construído um mapa de Uganda visualizando a taxa de mudança do horário noturno luzes com a mesma resolução espacial do sensor VIIRS-DNB, permitindo ao observador explorar onde no país ocorreu uma mudança nas luzes noturnas em pequena escala.

Este estudo conclui a existência de relações substanciais entre as luzes noturnas medido como a Soma das Luzes em Uganda, e os indicadores PIB, Expectativa de Vida, População Infantil Taxa de Mortalidade, Acesso à Eletricidade e População Urbana. A força destes resultados indicam que as luzes noturnas medidas pelo VIIRS-DNB podem ser usadas como um proxy para medir esses indicadores de forma eficaz e estão em linha com os resultados encontrados em estudos anteriores semelhantes pesquisa usando o DMSP-OLS. Além disso, o mapa de taxa de mudança ilustra a capacidade de o VIIRS-DNB para medir as mudanças nas luzes noturnas e, por procuração, os indicadores escolhidos, com uma resolução espacial muito maior do que a que era possível anteriormente usando o DMSP-OLS.

No entanto, antes de desenvolver estes resultados ou aplicá-los a um contexto prático, existem algumas limitações ao método utilizado neste artigo que são importantes de serem consideradas. Este artigo não leva em conta os efeitos da agricultura nos indicadores selecionados que podem produzir resultados imprecisos, especialmente quando se estudam economias em desenvolvimento baseadas na agricultura. Além disso, pesquisas anteriores indicaram que existe um nível de desenvolvimento acima onde a relação entre as luzes noturnas e os indicadores socioeconômicos se rompe, que deve ser tido em conta na aplicação deste método a outros países. Por último, apesar da Sendo o VIIRS-DNB uma melhoria em relação ao DMSP-OLS, não está isento de desvantagens, como baixo volume de dados disponíveis e baixa resolução espacial em relação ao que é necessário para estudar efetivamente a dinâmica urbana em pequena escala. Embora este estudo venha com estes limitações associadas, os resultados ainda sublinham a aplicabilidade e utilidade da observação noturna luzes como método de medição de indicadores socioeconômicos em países em desenvolvimento.

Por fim, para estudar mais a fundo a aplicabilidade das luzes noturnas medidas pelo VIIRS-DNB em pesquisa econômica, pesquisas futuras poderiam tentar combinar dados do VIIRS-DNB com outros fontes de dados de satélite diurnos para contabilizar os efeitos da agricultura ou da silvicultura, que podem resultar em resultados mais fortes ou mais completos. Além disso, pesquisas futuras poderiam estudar a relação entre luzes noturnas e desenvolvimento em outras nações em desenvolvimento, para potencialmente encontrar uma relação que pode ser aplicada a qualquer nação que não tenha alta qualidade dados socioeconômicos. Para desenvolver os resultados subnacionais produzidos neste artigo, foram utilizados dados de alta qualidade dados subnacionais poderiam ser obtidos para investigar a relação entre as luzes noturnas medido pelo VIIRS-DNB e indicadores socioeconômicos em um nível muito mais detalhado do que era possível anteriormente com o DMSP-OLS.

## 9. Referências

- Doll, CH, Muller, JP e Elvidge, CD (2000). Imagens noturnas como ferramenta para a globalização Mapeamento de Parâmetros Socioeconômicos e Emissões de Gases de Efeito Estufa. *AMBIO: Um Jornal do Meio Ambiente Humano*, 29(3), 157–162. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.3.157>
- Ebener, S. (2005). Da riqueza à saúde: modelando a distribuição de renda per capita em nível subnacional usando imagens de luz noturna. *Revista Internacional de Saúde Geografia*. <https://ij-healthgeographics.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-072X-4-5>
- Elvidge, CD, Baugh, KE, Kihn, EA, Kroehl, HW e Davis, ER (1997). Mapeamento luzes da cidade com dados noturnos do DMSP Operational Linescan Sistema. *Engenharia Fotogramétrica e Sensoriamento Remoto*, 63(6), 727-734.
- Elvidge, CD, Cinzano, P., Pettit, DR, Arvesen, J., Sutton, P., Small, C., Nemani, R., Longcore, T., Rich, C., Safran, J., Weeks, J., & Ebener, S. (2007). A missão Nightsat conceito. *Revista Internacional de Sensoriamento Remoto*, 28(12), 2645–2670. <https://doi.org/10.1080/01431160600981525>
- Elvidge, CD, Baugh, KE, Zhizhin, M., & Hsu, FC (2013). Por que os dados do VIIRS são superiores ao DMSP para mapeamento de luzes noturnas. *Anais da Rede Avançada Ásia-Pacífico*, 35(0), 62. <https://doi.org/10.7125/apan.35>
- Ghosh, T., L. Powell, R., D. Elvidge, C., E. Baugh, K., C. Sutton, P., & Anderson, S. (2010). Lançando luz sobre a distribuição global da atividade econômica. *A Geografia Aberta Revista*, 3(1).
- Gibson, J., Olivia, S., Boe-Gibson, G., & Li, C. (2021). Quais dados sobre luzes noturnas devemos uso em economia, e onde? *Journal of Development Economics*, 149, 102602. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2020.102602>
- Henderson, JV, Storeygard, A., & Weil, DN (2012). Medindo o crescimento econômico a partir de Espaço sideral. *American Economic Review*, 102(2), 994–1028. <https://doi.org/10.1257/aer.102.2.994>

Keola, S., Andersson, M., & Hall, O. (2015). Monitoramento do desenvolvimento econômico de Espaço: Usando Dados de Iluminação Noturna e Cobertura do Solo para Medir o Crescimento Econômico. *Mundo Desenvolvimento*, 66, 322–334. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.08.017>

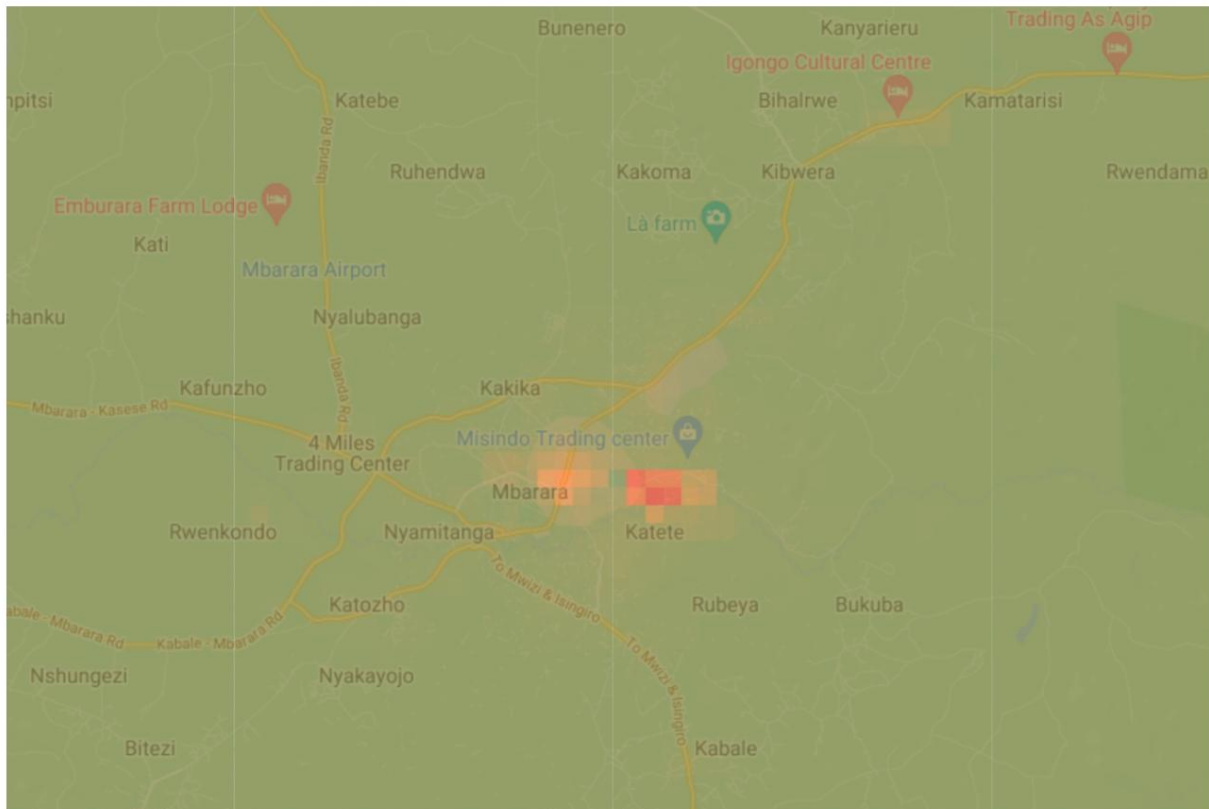
Nordhaus, W., & Chen, X. (2014). Uma imagem mais nítida? Estimativas da precisão da observação noturna luzes como proxy para estatísticas econômicas. *Journal of Economic Geography*, 15(1), 217–246. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbu010>

Sutton, PC, & Costanza, R. (2002). Estimativas globais de valores de mercado e não-mercado derivados de imagens noturnas de satélite, cobertura do solo e valoração de serviços ecossistêmicos. *Economia Ecológica*, 41(3), 509–527. [https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(02\)00097-6](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(02)00097-6)

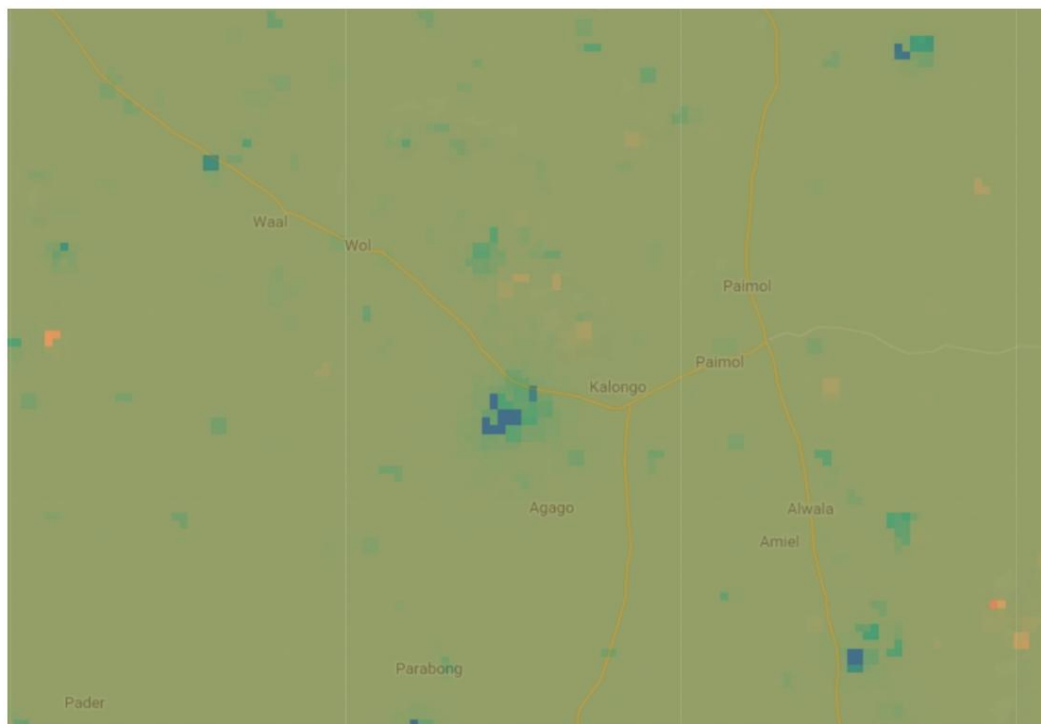
## 10. Apêndice

Ano	SOL
2014	56527,9502
2015	113804,9107
2016	68995,85675
2017	263997,6307
2018	248518,7168
2019	209950.0331
2020	274223,6422

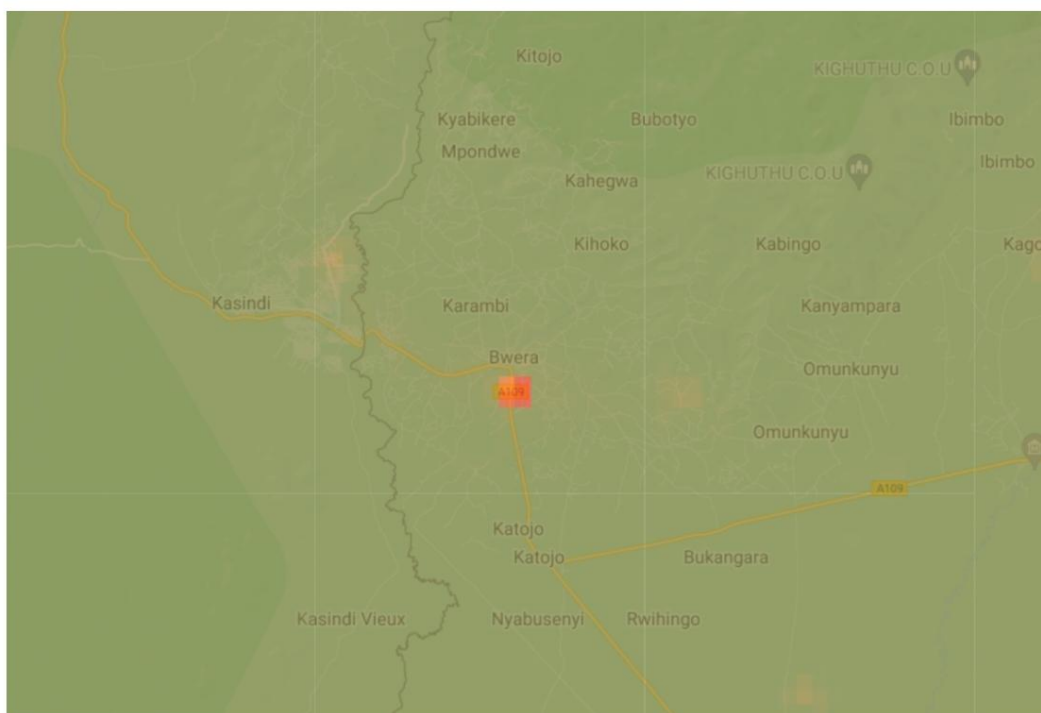
## Apêndice 1. Séries temporais SOL anuais produzidas em Python.



**Apêndice 2.** Mapa da taxa de mudança centrado em Mbarara, sudoeste de Uganda.



**Apêndice 3.** Mapa da taxa de mudança centrado em Kalongo, norte de Uganda.



**Apêndice 4.** Mapa da taxa de mudança centrado em Bwera, situado a leste da fronteira com a RDC.