



Expansão da Soja na Região sudoeste do Pará: Explorando Conexões com a Infraestrutura Logística

Soy Expansion in the Southwest Region of Pará: Exploring Connections with Logistics Infrastructure

Guilherme Ignácio Reis ¹, Maria Isabel Sobral Escada ², Jussara de Oliveira Ortiz ³

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil, reisig.guilherme@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8573-4633>

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil, isabel.escada@inpe.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5822-8265>

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil, jussara.ortiz@inpe.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9134-640X>

Recebido:11.2023 | Aceito:06.2024

Resumo: A partir do final da década de 1990, o cultivo da soja avançou do bioma cerrado para a Amazônia, impulsionado por investimentos governamentais e privados em infraestrutura, como o porto da Cargill em Santarém (2004) e a pavimentação da BR-163 no Pará. Nos municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos, a área de cultivo de soja aumentou de 16 mil ha em 2004 para 75 mil ha em 2020, acompanhando melhorias na infraestrutura de transporte, um fator chave na expansão da soja. Este estudo objetiva caracterizar espacialmente as mudanças nas condições viárias e seu impacto no tempo de viagem das áreas de cultivo até o porto de Santarém entre 2004 e 2020, na região Oeste do Pará. O método incluiu a geração de uma superfície de atrito e a atribuição de velocidades diferenciadas para estimar o tempo de viagem, considerando uso do solo, condições e extensão das estradas e declividade. Os resultados mostraram um aumento significativo na extensão da rede de estradas, de 2.322 km para 5.114 km, e uma redução no tempo médio de viagem de 65 minutos no período seco e 92 minutos no período chuvoso. As maiores reduções no tempo de viagem ocorreram na porção sul da área de estudo, devido à abertura de novas vicinais conectadas à BR-163. No Planalto Santareno, onde houve maior expansão da soja, a redução no tempo de viagem foi menor, refletindo uma rede viária já consolidada em 2004.

Palavras-chave: Cultivo de grãos. Santarém. Portos. Estradas.

Abstract: Since the late 1990s, soybean cultivation has gradually advanced from the Cerrado biome to the Amazon biome, driven by government and private investments in infrastructure, such as the Cargill port in Santarém (2004) and the paving of the BR-163 highway in Pará. In the municipalities of Santarém, Belterra, and Mojuí dos Campos, soybean cultivation areas expanded from 16 thousand hectares in 2004 to 75 thousand hectares in 2020, following transportation infrastructure improvements, a key factor in soybean expansion. This study aims to spatially characterize the road conditions and their impact on travel time from cultivation areas to the port of Santarém between 2004 and 2020, in the western region of Pará. The method included generating a friction surface and assigning different speeds to estimate travel time, considering land use and cover classes, road conditions and extent, and slope. The results showed a significant increase in the road network length from 2,322 km to 5,114 km and a reduction in average travel time from 65 minutes in the dry season to 92 minutes in the rainy season. The greatest reductions in travel time were observed in the southern portion of the study area, influenced by new feeder roads connected to BR-163. In the Santareno Plateau, where the most significant soybean expansion occurred, the reduction in travel time was smaller, reflecting an already consolidated road network in 2004.

Keywords: Soybean cultivation Santarém. Ports. Roads.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade global por alimentos apresenta uma tendência de crescimento para as próximas décadas. Para suprir parte dessa demanda, um volume cada vez maior de terras é destinado à produção de *commodities* agrícolas (Folhes & Fernandes, 2022). Em 2020, o Brasil concentrou 60% das áreas agrícolas para o cultivo da soja (37 milhões de hectares), que representou 65% (121 milhões de toneladas) da produção no continente, sendo que na Amazônia foram cultivados 4,2 milhões de hectares de soja (Song et al., 2021). No ano de 2023, o país se destacou como o maior produtor de soja do mundo, com uma produção de 154 milhões de toneladas (Food and Agriculture Organization [FAO], 2022; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [Embrapa], 2023).

A partir da década de 1990, o cultivo da soja ganhou proeminência na Amazônia e passa a influenciar as mudanças no uso e cobertura da terra na região (Barona et al., 2010). O modelo de produção e expansão do cultivo da soja suscita diversas preocupações, sobretudo na região amazônica, devido ao aumento na disparidade socioeconômica e aos modos de produzir entre pequenos e grandes produtores rurais e aos conflitos por terras que emergem nessas regiões (Steward, 2007) levando ao aumento do desmatamento (Gollnow et al., 2018).

A expansão da soja na Amazônia nas últimas décadas foi incentivada por investimentos públicos em infraestrutura voltada ao transporte e exportação da soja, em grande parte pelo governo federal (Sauer, 2018). Esses investimentos se iniciam com o plano de conclusão da pavimentação do trecho da BR – 163 no estado do Pará no início dos anos 2000, dentro do escopo do programa Avança Brasil. A conclusão da pavimentação desta rodovia acontece em 2019, possibilitando a ligação, com asfalto, das áreas de produção no estado do Mato Grosso com os portos e estações de transbordo no oeste do Pará, nos municípios de Santarém e Itaituba (Distrito de Miritituba) (Cardoso, 2008; Barros, 2019). No Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), vigente entre os anos de 2003 e 2016, os investimentos em infraestrutura passam a combinar capital público e privado. Um empreendimento importante construído dentro do escopo do PAC foi o terminal de cargas da empresa Cargill em Santarém, que iniciou suas operações em 2003. O começo das operações do terminal em Santarém provocou mudanças consideráveis na logística do escoamento da soja produzida na região Centro Oeste, reduzindo consideravelmente o custo do transporte (Rodrigues, 2021).

No estado do Pará, a área de Santarém, que inclui os municípios de Mojuí dos Campos e Belterra, é um dos principais polos de cultivo de soja. O relatório anual de safras realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) indica que a soja começou a ser cultivada na região na safra de 1997/1998 (Sauer, 2018). Após o início das operações do terminal de cargas de Santarém e do porto de Miritituba, ocorre um aumento considerável da área destinada ao cultivo da soja nos municípios próximos a esses empreendimentos. Na região de Santarém, somente em 2004, foram plantados 16.000 hectares de soja, em 2014, dez anos após o início das operações do terminal, essa área mais do que dobrou, foram plantados 39.000 hectares de soja (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2022). De acordo com a empresa Cargill, 5% do total de grãos recebidos no terminal de Santarém em 2018 foi produzido nos municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos. Isso mostra a importância e a influência desses investimentos na expansão local do cultivo de soja. Aliado aos investimentos em infraestrutura, as condições de relevo e edáficas do planalto santareno são propícias ao cultivo da soja. Entretanto, esse cultivo se estabelece em uma região que apresenta grandes maciços florestais e modos de produção extrativistas e de agricultura de pequena escala e familiar, que passam a ser ameaçados pela necessidade de incorporar novas terras a ao processo de produção da soja, visando a maximização do lucro (Souza & Escada & Monteiro, 2017). Assim, compreender as mudanças da infraestrutura logística local por meio de indicadores, como tempo de viagem, pode ser útil na indicação de áreas favoráveis à instalação desse cultivo, do ponto de vista do escoamento da produção.

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar espacialmente as condições viárias que modificam o tempo de viagem, inferido por técnicas de análise espacial, das áreas de cultivo de soja até o porto de Santarém, no período de 2004 a 2020, na região Oeste do Pará. A infraestrutura logística é representada por variáveis de estimativa de tempo de viagem, nos períodos seco e chuvoso, até o porto de Santarém, considerando a estrutura viária existente nos anos de 2004 e 2020. A análise de mudanças nas estimativas de viagens ao longo do tempo, indica o surgimento de novos vetores de expansão de áreas de cultivo de soja nos

municípios analisados.

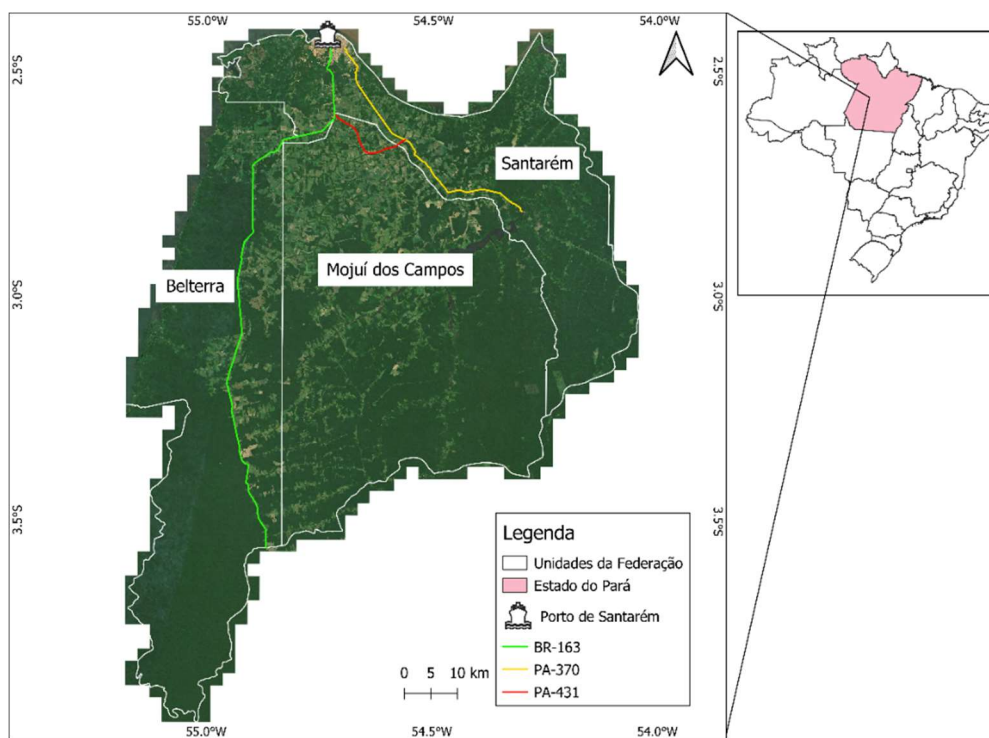
2 ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo (Figura 1), composta pelos municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos, possui cerca de 27.000 km² é formada por comunidades ribeirinhas com mais de 200 a 300 anos e por áreas ocupadas, principalmente, a partir da década de 1970, sob a influência da abertura de rodovias federais (BR-163) e incentivos fundiários e fiscais do governo federal (Alves et al., 2010).

De acordo com classificação de Köppen, o clima da região é do tipo “Af”, englobado nos subtipos climáticos do clima tropical chuvoso, apresentando uma precipitação média anual entre 2000 a 2500 mm e sem estação seca (Costa, 2018). O relevo da região, baseado no mapeamento de unidades de relevo proposto por Furtado e Pontes (2013), engloba o Planalto Rebaixado, apresentando altitudes que variam entre 50 a 220 metros, o Planalto Tapajós, com altitudes que variam entre 100 a 250 metros, e o pelo Planalto da Bacia sedimentar do Amazonas.

No início dos anos 2000 ocorreram significativas mudanças no uso e cobertura da terra na região, quando começa a ser observado a conversão de usos associados à agricultura familiar e pecuária para o cultivo de soja. Tal mudança ganha força com o início das operações do porto da Cargill no município de Santarém em 2004 (Sauer, 2018). Em parte da região, a entrada dos sistemas de produção intensivos, associados ao cultivo da soja alterou drasticamente a estrutura das terras agrícolas, aumentando a concentração de terras em grandes imóveis rurais (Paula, 2022). A produção da soja na região apresenta um crescimento expressivo a partir do ano de 2004. Neste ano, a área plantada total era de 16 mil hectares, enquanto em 2020 a área plantada passa a apresentar aproximadamente 75 mil hectares (IBGE, 2022). Havia uma expectativa de que a região poderia alcançar uma área plantada de 200 mil hectares, contudo, isto não ocorreu. Dentre os fatores que explicam esse processo, pode-se citar as políticas de comando e controle voltadas a redução do desmatamento e o aumento do custo de produção (Coelho et al., 2021).

Figura 1 – Localização da Região de Santarém.



Fonte: Os autores (2023).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Foram utilizados dados oriundos do projeto TOPODATA que fornece medidas sobre elevação e morfometria do terreno, calculadas com base nos produtos do SRTM para o Brasil. Os dados fornecidos possuem uma resolução espacial de 30 metros (Valeriano, 2005).

Os dados de uso e cobertura da terra utilizados foram os produzidos pelo projeto TerraClass Amazônia para os anos de 2004 e 2020 (Almeida et al., 2016). O projeto tem como objetivo qualificar os usos da terra de áreas desmatadas detectadas pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), sendo desenvolvido em uma parceria entre o INPE e a EMBRAPA. A classe Agricultura Temporária, presente na classificação do ano de 2004 e as classes Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo e Cultura Agrícola Temporária de 2 Ciclos presentes na classificação do ano de 2020, foram utilizadas como proxy para representar as áreas de cultivo de soja, uma vez que historicamente a soja é a cultura temporária predominante na região de Santarém (IBGE, 2022).

Os dados de estradas oficiais e não oficiais para toda Amazônia são disponibilizados pelo Imazon (Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia). O Instituto realizou o mapeamento de todas as estradas na região amazônica até 2012, a partir de interpretação visual de composições de imagens criadas para realçar o traçado viário (Brandão Jr; Souza Jr, 2006).

As imagens OLI/Landsat-8 para as áreas de estudo correspondem a um mosaico anual para o ano de 2020 produzido na plataforma *Google Earth Engine*. Foram selecionadas as bandas 6 (infravermelho médio), 5 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho) do sensor OLI. As imagens foram utilizadas na etapa de atualização da malha viária. O Quadro 1 apresenta o conjunto de dados utilizados nas análises realizadas no presente trabalho, descrevendo-se o ano, fonte e algumas características de cada dado utilizado.

Quadro 1 – Dados utilizados na construção das variáveis.

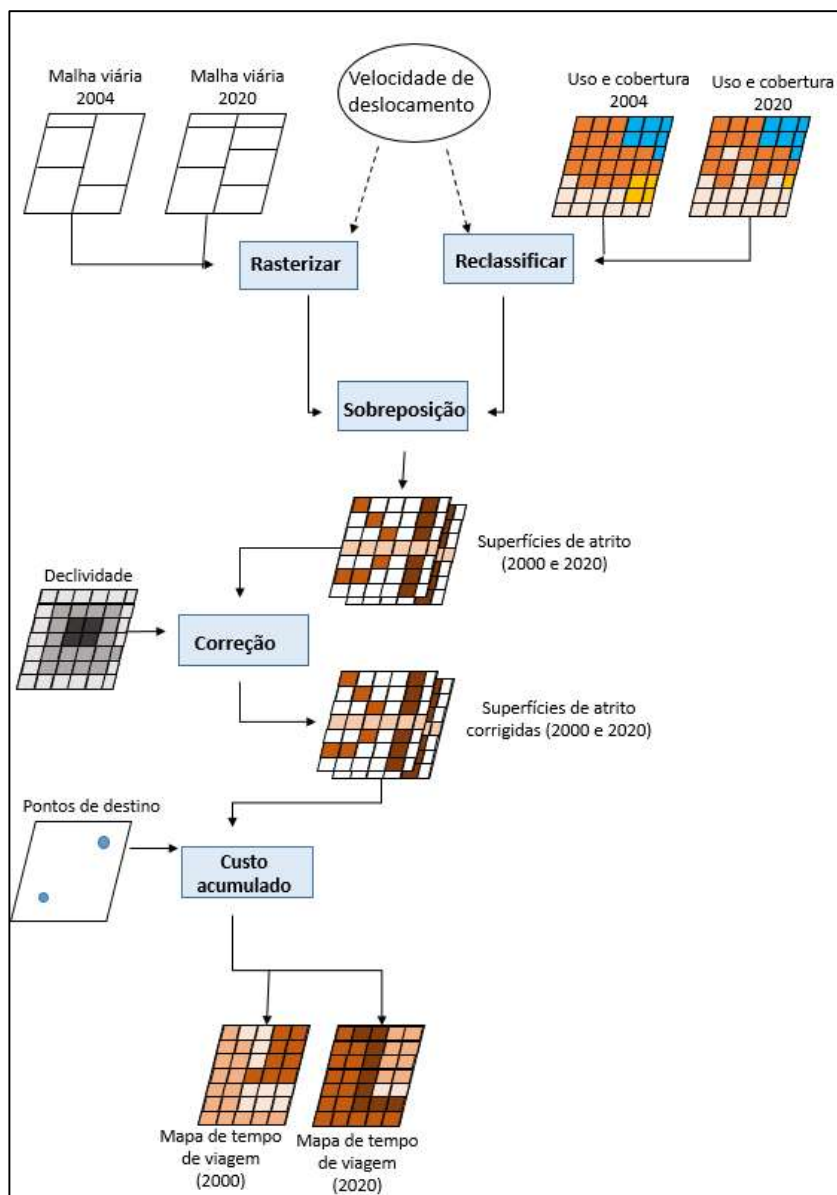
Dado	Ano	Fonte	Resolução Espacial
Uso e cobertura da terra (TerraClass)	2004 e 2020	INPE/EMBRAPA	30 metros (2004) e 10 metros (2020)
Malha viária	1985 - 2012	IMAZON	
Modelo Digital de Elevação (TOPODATA)	2009	Valeriano (2005)	30 metros
Imagens Landsat 8 (OLI)	2020	Google Earth Engine	30 metros

Fonte: Os autores (2023).

3.2 Métodos

O método de cálculo do tempo de viagem proposto por Frey et al. (2018) foi utilizado no trabalho de Schielein et al. (2021) para mensurar o impacto das mudanças nas condições de acessibilidade na Amazônia brasileira entre os anos de 2004 e 2011 e a probabilidade de áreas terem seu uso convertido para o cultivo da soja no período de 2012 a 2014. Os autores afirmam que para a análise da expansão da soja, a utilização da distância euclidiana da rede de infraestrutura fornece resultados que correspondem apenas às relações espaciais absolutas, desconsiderando o traçado da rede viária e as condições de circulação. Por outro lado, o cálculo do tempo de viagem, possibilita considerar a forma da malha viária e as diferentes velocidades de deslocamento, que variam de acordo com as condições das estradas, possibilitando uma análise mais adequada de acessibilidade. O presente trabalho também utiliza a metodologia proposta por Frey et al. (2018), que é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Metodologia para o cálculo da estimativa do tempo de viagem.



Fonte: Adaptado de Schielein et al. (2021).

A malha viária utilizada, relativa ao ano de 2012, foi produzida pelo Imazon e, portanto, se fez necessário realizar uma atualização para o ano de 2020. A atualização teve como base a metodologia proposta por Brandão e Souza (2006). Neste processo, foi realizada interpretação visual em imagens das bandas 6 (infravermelho médio), 5 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho) do sensor OLI/ Landsat-8, em uma composição falsa cor 6 (R) /5 (G) /4 (B), para identificação e mapeamento das estradas. O uso de imagens Landsat na atualização ocorreu devido a metodologia adotada pelo Imazon na produção do dado, que utilizou imagens Landsat 5 e 8.

Os processamentos iniciais consistiram na rasterização da malha viária, e na atribuição de velocidades às classes de uso e cobertura da terra e da malha viária. As estimativas de velocidade se basearam no trabalho de Schielein et al. (2021), uma vez que os autores também tinham como objetivo produzir dados de estimativa de tempo de viagem na região amazônica e fizeram alguns experimentos com medidas de velocidade em campo. Na Tabela 1 são apresentadas as velocidades atribuídas à cada classe de uso e cobertura da terra.

Tabela 1– Velocidades atribuídas às classes de uso e cobertura da terra.

Classe	Velocidade Período Seco (Km/h)	Velocidade Período Chuvoso (Km/h)
Formação Florestal	3	3
Vegetação Secundária	3	3
Pastagens	15	5
Áreas agrícolas	15	5
Não Floresta	3	3
Área urbana	30	30
Mineração	1	1
Outros Usos	1	1
Desflorestamento no ano	15	5

Fonte: Adaptado Schielein et al. (2021).

Em relação à velocidade de deslocamento das estradas, foram atribuídas às vias não pavimentadas uma velocidade de 50 km/h no período seco e 15km/h no período chuvoso, enquanto para as rodovias federais e estaduais asfaltadas, foi atribuída a velocidade de 80 km/h para ambos os períodos. Contudo, para o ano de 2004 foi atribuída uma velocidade de 70 km/h no período seco e 30 km/h no período chuvoso, para o trecho da PA- 370, na região de Santarém. De acordo com Santos (2020), a pavimentação da rodovia PA-370 apresentava más condições em meados dos anos 2000, até a região da comunidade de Boa Esperança, justificando a velocidade atribuída (Tabela 2).

Tabela 2– Velocidades atribuídas às vias

Tipo de via	Velocidade Período Seco (Km/h)	Velocidade Período Chuvoso (Km/h)
Pavimentada	80	80
Não Pavimentada	70	30

Fonte: Adaptado Schielein et al. (2021).

A verificação das condições de pavimentação da rodovia BR – 163 em 2004 e 2020 foi realizada a partir da utilização de planilhas disponibilizadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT), que subdivide as rodovias federais em trechos e apresenta anualmente as condições da infraestrutura viária. A rodovia estadual PA-370 apresentava pavimentação até a Usina Hidroelétrica Curuá - Una nos anos de 2004 e 2020, enquanto a rodovia estadual PA-431 passou a contar com pavimentação somente a partir do ano de 2012. As demais vias presentes na base do Imazon não apresentavam pavimentação nos anos de 2004 e 2020.

Após a atribuição das velocidades, foi produzida uma superfície de atrito, que é representada por um dado matricial resultante da sobreposição entre os dados viários e de uso e cobertura da terra reclassificados, onde cada pixel possui um valor referente a um custo de tempo de deslocamento. Inicialmente, para a produção desta superfície matricial, é necessário criar um dado matricial intermediário onde o valor do pixel corresponde a velocidade de deslocamento. Para isso, é necessário realizar a sobreposição entre a malha viária e o dado de uso e cobertura da terra, sendo importante que todos os dados estejam no formato matricial e possuam a mesma resolução espacial.

O dado vetorial referente à malha viária foi convertido para o formato matricial, sendo escolhida a resolução de 10 metros, a mesma dos dados de uso e cobertura da terra do ano de 2020. A decisão de modificar a resolução espacial do dado de uso e cobertura da terra de 2004, que é de 30 metros, para 10 metros foi tomada devido ao fato de que a classificação de 2020 foi realizada utilizando imagens de melhor resolução espacial, a com maior detalhamento do dado de uso e cobertura da terra. Como essa informação é importante para a estimativa de tempo de viagem optou-se, durante os procedimentos de compatibilização dos dados, por não degradar a resolução espacial do dado de 2020. De outro modo, a degradação da resolução espacial dos dados de 10 para 30 metros teria como efeito, a perda de informação do ano de 2020, devido a necessidade de atribuir

uma informação única para conjuntos de 9 pixels de 10m, por meio de alguma operação de interpolação. Com isso, as duas bases de dados foram compatibilizadas e as informações contidas em ambas as bases de dados foram preservadas.

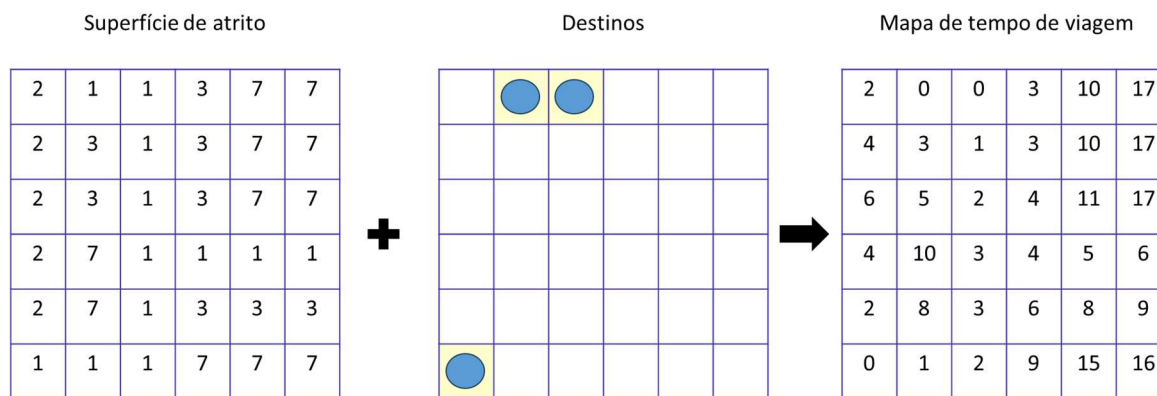
A sobreposição entre os arquivos matriciais foi realizada utilizando o *software* GRASS GIS integrado no *QGIS*. Na parametrização da função *r.series*, foi selecionada a opção *maximum*, para que no processo de sobreposição entre os arquivos prevaleça o pixel com maior valor de velocidade, garantindo que os pixels que representam a malha viária recebam sempre prioridade em relação aos pixels que representam as classes de uso e cobertura da terra.

Em seguida, foi feita a correção das velocidades presentes na superfície de atrito, pela declividade. Como regra, a velocidade irá decair conforme o grau de declividade, de modo que em regiões mais planas a velocidade será pouco alterada e o contrário acontecerá em regiões de alta declividade. Foi utilizado um modelo digital de elevação (DEM) disponibilizado pelo projeto TOPODATA, reamostrado para 10 metros, utilizando o método bilinear. O cálculo da declividade e a conversão dos valores para radianos foram realizados utilizando o pacote *Accessibility Maps*, produzido por Schielein et al. (2021) para o *software* R.

Por fim, foi calculado o custo de tempo de deslocamento na superfície de atrito corrigida. Para isso, a velocidade representada nos pixels foi convertida para metros por segundo e dividida pela resolução espacial do dado matricial (10 metros). Desta forma, cada o valor de cada *pixel* representa o custo de tempo para se deslocar sobre a sua área.

O cálculo do custo de tempo acumulado para a produção dos mapas de estimativa de tempo de viagem foi feito usando o *software* *QGIS* (Figura 3). A função *r.cost* calcula a partir de cada pixel o trajeto com o menor custo de deslocamento até um ponto de destino, o porto de Santarém (Figura 3). Ao fim deste processo foram geradas 4 camadas de informação em formato raster que representam as estimativas de tempo de viagem para o período chuvoso e para o período seco dos anos de 2004 e 2020. A análise desses dois períodos é importante, pois a colheita da soja na região se inicia em abril, período de chuva, podendo se estender até agosto, período seco (Conab, 2020), de forma que as condições das estradas podem ter influência na decisão sobre aquisição de terras para plantio de soja e, portanto, na definição dos eixos de expansão deste cultivo.

Figura 3 – Exemplificação do funcionamento do cálculo da estimativa de tempo de viagem.



Fonte: Adaptado Schielein et al (2021).

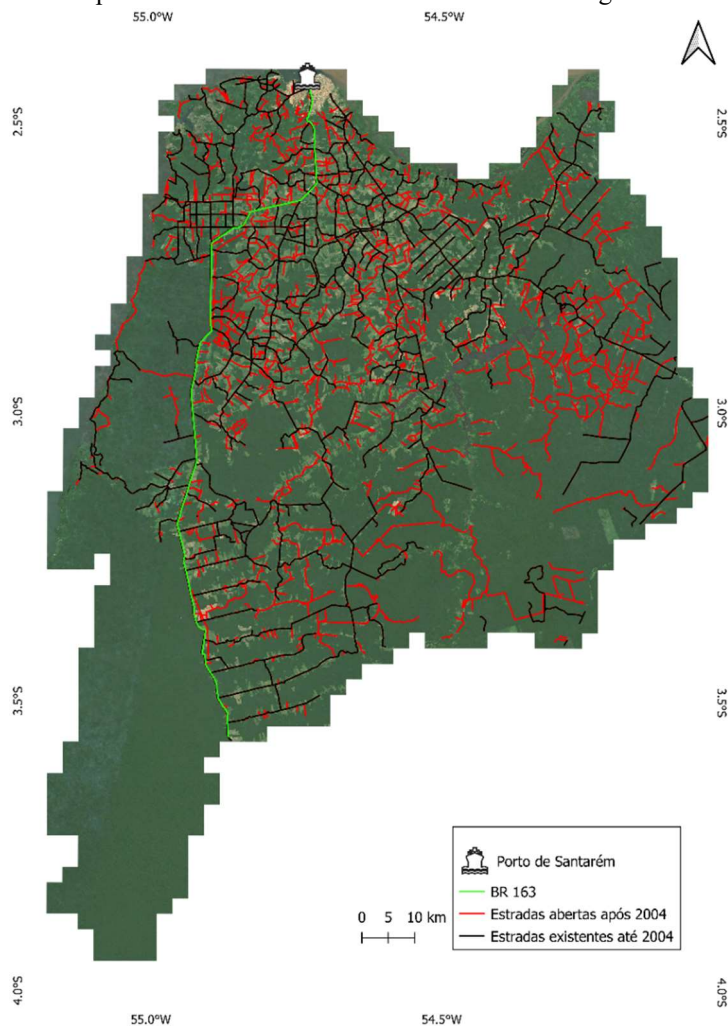
Por fim, foi gerada uma grade celular regular, utilizando o *software* *TerraView*, com dimensões de 3 x 3 km para realizar a análise da diferença do tempo de viagem em áreas onde houve a expansão do cultivo de soja, entre 2004 e 2020. Os valores de tempo de viagem foram estimados a partir do valor da mediana do valor da estimativa do tempo de viagem em cada célula. As áreas de expansão do cultivo de soja foram geradas a partir da diferença dos dados de uso e cobertura da terra de 2004 e 2020, em seguida o resultado da diferença foi sobreposto a grade celular para identificar as células onde ocorreu a expansão do cultivo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4 apresenta a rede de estradas atualizada até o ano de 2020, diferenciando as estradas existentes até o ano de 2004 e o incremento observado até o ano de 2020, na região de Santarém. Em 2004 a malha viária apresentava 2.477 km, enquanto em 2020 o comprimento total estimado da malha viária foi de 5.114 km, um aumento observado de 2.637 km (106%). Observando o mapa da Figura 4, nota-se que na região no planalto santareno, onde se concentra a maior parte das áreas de cultivo de soja, a expansão das estradas aconteceu a partir de estradas vicinais já existentes. Nas regiões sul e leste é possível notar o surgimento de aglomerados de novas estradas abertas em locais sem estradas vicinais em 2004, indicando a abertura de novos vetores de ocupação

A entrada e expansão dos sistemas produtivos associados à agricultura de larga escala provocou uma reconfiguração do espaço agrário na região. Dentre essas transformações, destaca-se o deslocamento de partes dos pequenos agricultores que ocupavam a área do planalto Santareno em direção a áreas periféricas da região de Santarém, assim como o deslocamento de alguns pequenos produtores para os centros urbanos (Cardoso & Oliveira & Gomes, 2020; Coelho et al., 2021). Desta forma, a abertura de novas vias nas áreas periféricas da região pode estar associada à ação de pequenos produtores, que necessitam se deslocar dentro de uma nova frente de expansão para conseguir desenvolver suas atividades extrativistas ou de agricultura de pequena escala.

Figura 4 – Expansão da malha viária entre 2004 e 2020 na região de Santarém.

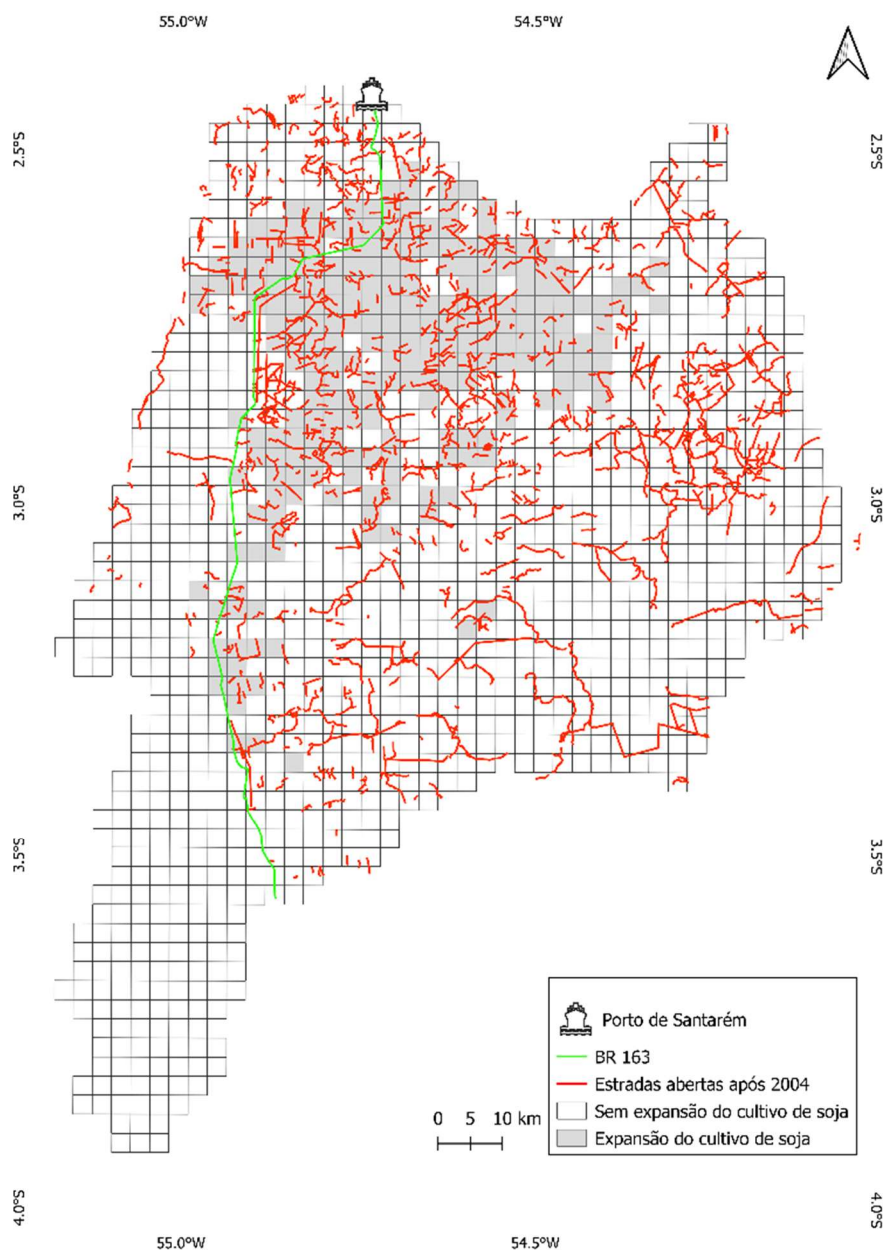


Fonte: Os autores (2023).

Nas 242 células onde foi verificada a expansão do cultivo da soja, observou-se um incremento na

malha viária de 832 km, o que significa um aumento de 88% em relação à extensão da malha viária de 2004, que era de 935 km (Figura 5). Nas demais células, em que não ocorreu o processo de expansão da soja, também foi verificado um incremento de 117% (1.805 km) no comprimento total das estradas entre os anos de 2004 e 2020. A diferença verificada no incremento do comprimento das estradas pode ser explicada pelo fato de que a expansão da soja ocorreu próxima a cultivos já existentes em 2004, locais onde já havia uma boa rede de estradas. Como o processo de expansão da soja não é concomitante com a abertura de estradas, principalmente se considerarmos que grande parte dessas novas estradas não são pavimentadas, o aumento dessa capilaridade na região pode significar o aumento de eixos futuros de expansão da soja, bem como a complementação de pequenos trechos de estrada para conexão com estradas asfaltadas. No Estado do Mato Grosso, na região de Sinop, Capanema (2017) verificou o aumento de estradas vicinais concomitante ao aumento de áreas de soja. De acordo com o autor, essas novas estradas são utilizadas, em grande parte, para o escoamento da produção de soja.

Figura 5 - Expansão da rede viária entre 2004 e 2020 nas células com expansão do cultivo da soja.



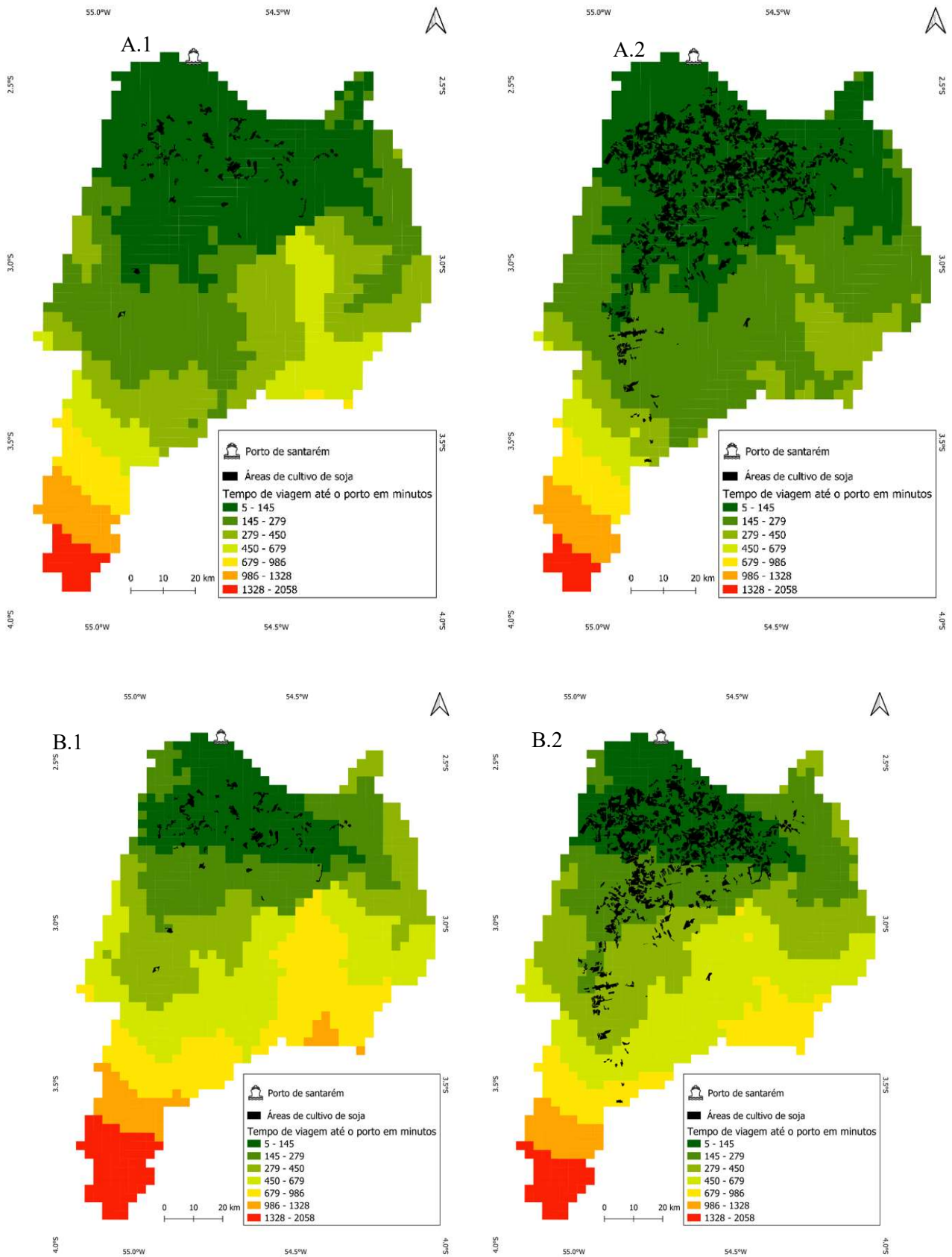
Fonte: Os autores (2023).

Os mapas relativos ao tempo de viagem gerado para a região de Santarém no período seco são apresentados na Figura 6A.1, juntamente com os histogramas, contendo a distribuição e a frequência dos valores nas células, que podem ser visualizados na Figura 7.A.1, para o ano de 2004 e, na Figura 7.A.2 para o ano de 2020. Nesses mapas é possível observar que em 2004 e 2020 a porção central da área de estudo, localizada no planalto santareno, é a região com menor tempo de viagem até o porto. Isso se deve à proximidade geográfica do porto, somada à proximidade das principais rodovias (BR-163, PA-370 e PA-431) e da rede de estradas vicinais bem consolidadas. As áreas com o maior tempo de viagem correspondem à porção do extremo sul da região, dentro dos limites da Flona Tapajós, onde há uma menor densidade de ocupação humana e maior cobertura florestal. Na porção centro sul da região foram encontrados valores intermediários de tempo de viagem. Nesses locais há uma rede de estradas vicinais que está em processo de expansão e consolidação, devido ao aumento da ocupação, principalmente, dentro dos assentamentos. Essas regiões devem ser monitoradas com atenção, podendo configurar novos vetores de expansão de produção de soja.

A partir de uma análise comparativa entre os mapas e gráficos dos dois anos, é possível observar que houve uma redução do tempo de viagem em 2020, principalmente, nas regiões centro-sul e sul da área de estudo. Essa redução de tempo pode estar atrelada à pavimentação de parte da BR-163 na porção sul da região de Santarém, entre 2004 e 2020, além da abertura de novas estradas vicinais na localidade. A região do planalto santareno não apresenta reduções drásticas no tempo de viagem, pois nesse local a infraestrutura logística sempre foi melhor que a verificada no restante da região de Santarém.

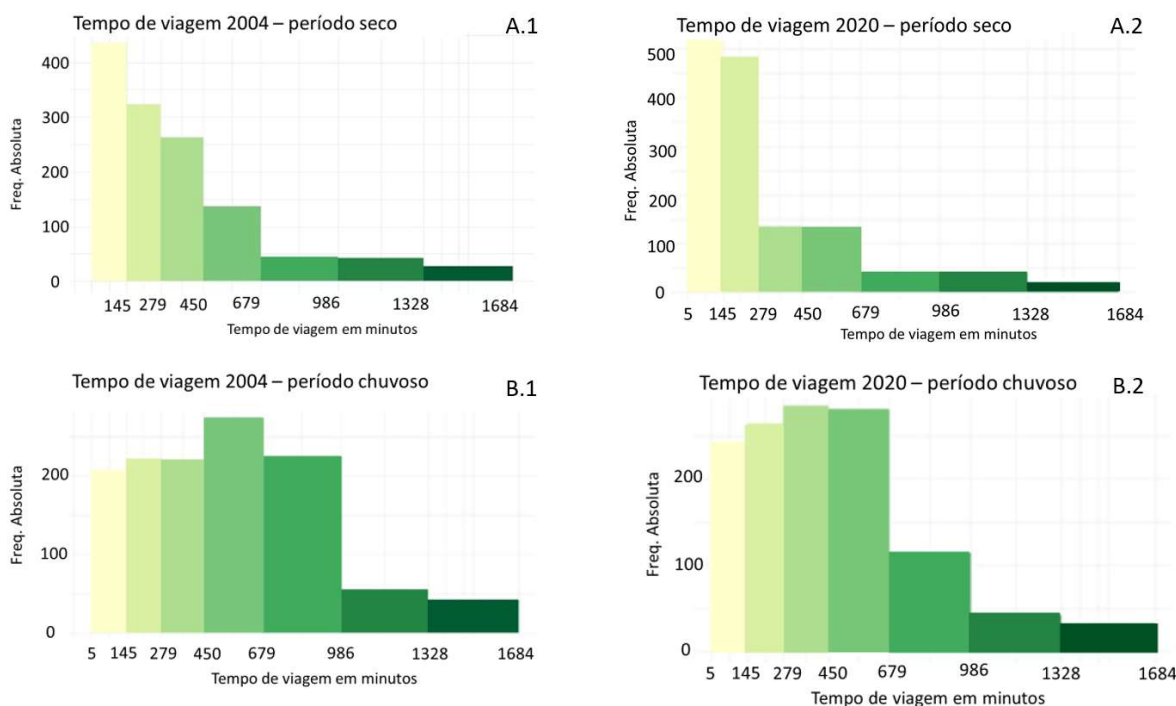
As Figuras 6.B e 7.B apresentam respectivamente os mapas e os histogramas de distribuição das variáveis de tempo de viagem no tempo chuvoso. No geral, os mapas indicam que no período chuvoso a variação do tempo de viagem na grade apresenta um comportamento semelhante ao verificado no período seco, com os menores tempos de viagem concentrados na região do planalto santareno e os maiores na porção sul da área de estudo. Contudo, como observado nos histogramas apresentados na Figuras 7.B.1 e 7.B.2, a distribuição das células nos primeiros dois intervalos (onde estão os menores tempo de viagem) apresenta um número menor de células se comparado ao verificado no período seco. Isso era esperado, pois no período chuvoso apenas as rodovias principais pavimentadas têm a velocidade de deslocamento mantida em relação ao período seco, nas demais vias e nas classes de uso e cobertura a velocidade de deslocamento é reduzida. Foi observada, também, uma redução no tempo médio de viagem, de 65 minutos no período seco e 92 minutos no período chuvoso, entre 2004 e 2020.

Figura 6 - Mapas da variável de tempo de viagem até o porto, em 2004, no período seco (A1) e no período chuvoso (B1), e em 20020 no período seco (A2) e período chuvoso (B2) na região de Santarém.



Fonte: Os autores (2023).

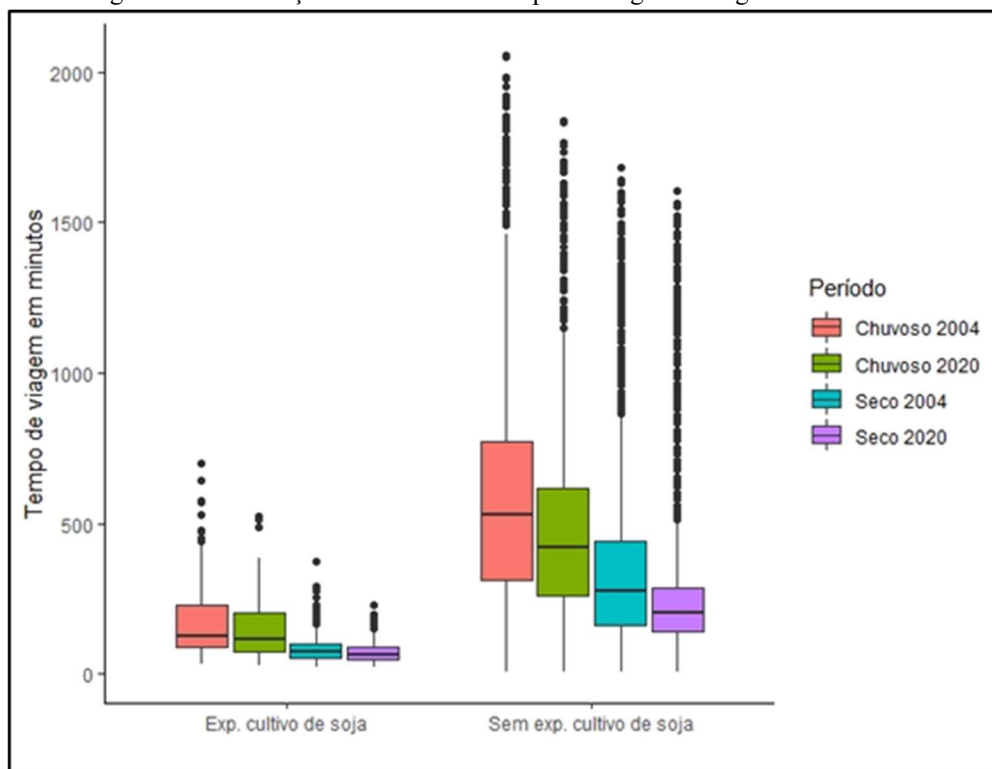
Figura 7 - Histograma de distribuição da variável de tempo de viagem no período seco em 2004 (A.1) e no período chuvoso (B.1) e em 2020 no período seco (A.2) e chuvoso (B.2), para a região de Santarém.



Fonte: Os autores (2023).

No trabalho de Schielein et al. (2021) foi evidenciado que as áreas de cultivo de soja tendem a se estabelecer em locais com boas condições de acessibilidade até portos ou silos durante todo o ano. No contexto do cultivo da soja na Amazônia esse fator é importante, pois, a colheita ocorre no fim do período chuvoso, como na região estudada, e o tráfego em vias sem pavimentação pode trazer riscos de perdas da produção durante o transporte. Na Figura 8 é apresentada a distribuição dos valores do tempo de viagem nas células onde ocorreu a expansão do cultivo da soja e nas células sem a presença de cultivo de soja. Observa-se que nas células onde ocorreu a expansão do cultivo de soja, o valor médio e mediano do tempo de viagem é menor em todos os cenários analisados. Desta forma, é possível supor que as áreas de cultivo de soja na Região de Santarém estão dispostas em locais com boas condições de tráfego até o porto, tanto no período seco, quanto no chuvoso, indo de encontro com os resultados observados em outros trabalhos, que analisam a relação entre o cultivo de soja na Amazônia e a infraestrutura logística (Frey et al., 2018). Além disso, é observado que nas áreas de expansão de soja, o tempo de viagem se altera pouco entre 2004 e 2020, indicando que a soja se expandiu em locais que desde 2004 apresentavam melhores condições de acessibilidade ao porto. Entretanto, o processo de expansão da soja não é concomitante com a abertura de estradas, em geral, esse processo ocorre após o estabelecimento da infraestrutura de transporte. Assim, a presença de novas estradas não pavimentadas aumenta a capilaridade da região, podendo indicar eixos futuros de expansão da soja. No Mato Grosso, na região de Sinop, Capanema (2017) verificou o aumento de estradas vicinais em áreas de produção de soja. De acordo com o autor, essas novas estradas são utilizadas, em grande parte, para conectar a área de produção ao asfalto, facilitando o escoamento da produção.

Figura 8– Distribuição da variável de tempo de viagem na região de Santarém.



Fonte: Os autores (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar espacialmente as condições viárias que modificaram o tempo de viagem das áreas de cultivo de grãos até o porto de Santarém, no período de 2004 a 2020. Esse período marca o início das atividades do porto de Santarém. Na região, a rede de rodovias e estradas vicinais formam uma rede que favorece o escoamento da produção pelo porto, atraindo para essa região, investimentos para o cultivo de grãos e a expansão dessa atividade no território, antes ocupado pela produção agropecuária e extrativista, em grande parte, de pequena escala e/ou familiar (Souza et al., 2017; Coelho et al., 2021; Paula et al., 2022).

As variáveis de estimativa de tempo de viagem ao porto possibilitaram analisar a variabilidade das condições de acessibilidade na região durante o período seco e chuvoso. Foi evidenciada uma significativa diferença no tempo de viagem gasto entre esses períodos, reforçando o papel das rodovias pavimentadas como importantes vetores para o escoamento da produção, e como fator importante para a expansão dessa cultura agrícola ao longo da região de Santarém. No geral, as áreas de cultivo de soja se localizam em locais com uma maior e melhor estrutura viária, mais consolidadas, e em locais onde há pouca variação no tempo de viagem no período seco e chuvoso. No entanto, como na região, o período de colheita se dá no período chuvoso, iniciando em abril, é necessário que haja boas condições de acessibilidade ao porto, também, no período chuvoso.

Foi observado que na porção sul da região de Santarém ocorreu uma diminuição do tempo de viagem ao porto, nos períodos seco e chuvoso, provocado pela conclusão da pavimentação da BR-163. Essa melhoria viária pode ser um fator atrativo para o estabelecimento de novas áreas de cultivo de soja no futuro, visto que a rodovia é a melhor rota de acesso ao porto em toda região. Esse tipo de análise que considera o tempo de viagem e a rede de infraestrutura no contexto da expansão de cultivos como o da soja, traz elementos importantes para o planejamento regional, indicando tendências e eixos futuros de expansão tanto do cultivo grãos quanto da ocupação humana, que muitas vezes podem se sobrepor a outras formas de ocupação presentes no local, gerando conflitos pela terra e/ou por outros recursos naturais como a água e a floresta.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Contribuição dos Autores

O primeiro autor (Guilherme Ignácio Reis) foi responsável pela Conceituação, Pesquisa e Metodologia, Visualização e Redação –rascunho. A segunda autora (Maria Isabel Sobral Escada) foi responsável pela Conceituação, Supervisão e Redação –revisão e edição. A terceira autora (Jussara de Oliveira Ortiz) foi responsável pela Conceituação, Supervisão e Redação –revisão e edição.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses

Referências

- Almeida, C., Coutinho, A., Esquerdo, J., Adami, M., Venturieri, A., Diniz, C., Dessay, N., Durieux, L., & Gomes, A. (2016). 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*, 46(3), 291–302. <https://doi.org/10.1590/1809-439220150550>
- Alves, P., Amaral, S., Escada, M. I., & Monteiro, A. M. (2010). Explorando as relações entre a dinâmica demográfica, estrutura econômica e mudanças no uso e cobertura da terra no sul do Pará: lições para o Distrito Florestal Sustentável da BR 163. *Geografia (Rio Claro)*, 35(1), 165-182.
- Barona, E., Ramankutty, N., Hyman, G., & Coomes, O. T. (2010). The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, 5(2), 024002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/2/024002>
- Barros, M. (2019). De agrovila a nó logístico do agronegócio na Amazônia: o caso de Miritituba, Itaituba, Pará. *Geosul*, 34(71), 382–406. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n71p382>
- Brandão Júnior, A., & Souza Júnior, C. (2006). Mapping unofficial roads with Landsat images: a new tool to improve the monitoring of the Brazilian Amazon rainforest. *International Journal of Remote Sensing*, 27(1), 177–189. <https://doi.org/10.1080/01431160500353841>
- Capanema, V.P. (2017) *Fatores de Degradação Florestal Atuantes em Diferentes Estágios da Fronteira Agropecuária na Amazônia: Estudo de Caso na Região de Sinop, MT*. [Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais] Repositório digital de teses e dissertações INPE.
- Cardoso, A. C., Oliveira, K., & Gomes, T. V. (2020). Mismatches between extended urbanization and everyday socioenvironmental conflicts in Santarém (Brazil). *Sustentabilidade em Debate*, 11, 83-97. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n1.2020.29468>
- Cardoso, F. H. *Avança Brasil: Proposta de Governo*. (2008) . Centro Edelstein de Pesquisas Sociais. <https://doi.org/10.7476/9788599662687>
- Coelho, A. A., Aguiar, A., Toledo, P., Araújo, R., do Canto, O., Folhes, R., & Adami, M. (2021). Rural landscapes and agrarian spaces under soybean expansion dynamics: a case study of the Santarém region, Brazilian Amazonia. *Regional Environmental Change*, 21(4), 100. <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01821-y>
- Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). (2020). *CALENDÁRIO AGRÍCOLA (PLANTIO E COLHEITA)*.

- Costa, L. C. (2018). *Trajatória das mudanças de uso e cobertura da terra em estimativas de perda de solo em uma região de expansão agrícola na Amazônia: a bacia do rio Curuá-Una, PA*. [Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais] Repositório digital de teses e dissertações INPE.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (2023). *Soja em Números (Safra 2022/2023)*.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2004). *Food and agriculture data*.
- Folhes, R. T., & Fernandes, D. A. (2022). A dominância do paradigma tecnológico mecânico-químico-genético nas políticas para o desenvolvimento da bioeconomia na Amazônia. *Papers do NAEA*, 31, 540. <https://doi.org/10.18542/papersnaea.v31i1.12993>
- Frey, G. P., West, T. A. P., Hickler, T., Rausch, L., Gibbs, H. K., & Börner, J. (2018). Simulated Impacts of Soy and Infrastructure Expansion in the Brazilian Amazon: A Maximum Entropy Approach. *Forests*, 9(10), 600. <https://doi.org/10.3390/f9100600>
- Furtado, A. M., & Ponte, F. C. (2014). Mapeamento de unidades de relevo do Estado do Pará. *Revista GeoAmazônia*, 2(1). <http://dx.doi.org/10.18542/geo.v1i02.12353>
- Gollnow, F., Hissa, L. B. V., Rufin, P., & Lakes, T. (2018). Property-level direct and indirect deforestation for soybean production in the Amazon region of Mato Grosso, Brazil. *Land Use Policy*, 78, 377-385. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.07.010>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *PAM – Produção agrícola Municipal*. (2023).
- Paula, D. S. de, Escada, M. I. S., & Ortiz, J. de O. (2022). Análise multitemporal do uso e cobertura da terra na Amazônia: A expansão da agricultura de larga escala na bacia do Rio Curuá-Una. *Revista Brasileira de Cartografia*, 74(2), 379–398. <https://doi.org/10.14393/rbcv74n2-63206>
- Rodrigues, J. C. (2021). O projeto arco norte na Amazônia e a sua relação com o agronegócio. *Revista da Casa da Geografia de Sobral*, 23(1), 317-351. <https://doi.org/10.35701/rcgs.v23.787>
- Sauer, S. (2018). Soy expansion into the agricultural frontiers of the Brazilian Amazon: The agribusiness economy and its social and environmental conflicts. *Land Use Policy*, 79, 326-338. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.08.030>
- Schielein, J., Frey, G. P., Miranda, J., Souza, R. A., Boerner, J., & Henderson, J. (2021). The role of accessibility for land use and land cover change in the Brazilian Amazon. *Applied Geography*, 132, 102419. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102419>
- Song, X.-P., Hansen, M. C., Potapov, P., Adusei, B., Pickering, J., Adami, M., Lima, A., Zalles, V., Stehman, S. V., Di Bella, C. M., Conde, M. C., Copati, E. J., & Fernandes, L. B. (2021). Massive soybean expansion in South America since 2000 and implications for conservation. *Nature Sustainability*, 4(9), 784-792. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00729-z>
- Souza, A. R., Escada, M. S., & Monteiro, A. M. V. (2017). Padrão da paisagem associado ao uso e cobertura da terra em comunidades ribeirinhas e de terra firme situadas no sudoeste do Pará. *Geografia*, 42(2), 135-164. <https://doi.org/10.5016/geografia.v42i2.13076>
- Stewart, C. (2007). From colonization to "environmental soy": A case study of environmental and socio-economic valuation in the Amazon soy frontier. *Agriculture and Human Values*, 24, 107-122. <https://doi.org/10.1007/s10460-006-9030-4>
- Valeriano, M. M. (2005). *Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA*. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia.



Guilherme Ignácio Reis nasceu em 1995 no município do Rio de Janeiro -RJ, Brasil. É bacharel e licenciado em Geografia pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuem o devido crédito pela criação original.