Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science
http://periodicos.unievangelica.edu.br/fronteiras/
ISSN 2238-8869

Article

Composição Pedologística da Expansão Sucroenergética no Sudoeste Goiano

Silas Pereira Trindade[1]

[1] Doutor em Ciências Ambientais. Docente na Universidade Estadual de Goiás. ORCID: 0000-0001-6680-2661. E-mail: silas.trindade@ueg.br

RESUMO

O Cerrado brasileiro passou pelo processo de mudanças de uso dos solos promovido pela expansão sucroenergética, associado ao Plano Nacional de Agroenergia. O objetivo deste estudo foi compreender esta dinâmica de expansão por meio dos fatores edáficos e antrópicos na região do Sudoeste goiano. A metodologia desta pesquisa utilizou técnicas de Sensoriamento Remoto e de Geoprocessamento, que consistiram no mapeamento do uso do solo, com destaque à cana-de-açúcar em uma sucessão temporal para os anos de 1985, 1995, 2005, 2010, 2016 e 2019; no mapeamento Aptidão Agrícola do Uso das Terras da região; a vetorização dos sistemas logísticos de escoamento do etanol planejados e implementados no Sudoeste de Goiás e em suas áreas lindeiras; a análise geoespacial deste processo, integrando a dinâmica da expansão sucroalcooleira com o meio físico e a infraestrutura. Os resultados deste estudo mostraram que as mudanças de uso do solo, promovidas pela cana-de-açúcar, empregaram inicialmente condições pedológicas naturais, como principal fator de produção, posteriormente, faz-se uso do aparelhamento tecnológico de escoamento de produção focados no transporte de baixo custo, formando a composição pedologística da cana-de-açúcar que se configurou em uma nova etapa da modernização da agricultura regional.
Palavras-chave: mudanças de uso do solo; aptidão agrícola do uso das terras; tecnologia; células de produção.

ABSTRACT

The Brazilian Cerrado has undergone changes in land use driven by the expansion of the sugar-energy sector, linked to the National Agroenergy Plan. The objective of this study was to understand this expansion dynamic through edaphic (soil-related) and anthropic factors in the southwestern region of Goiás. The methodology of this research utilized Remote Sensing and Geoprocessing techniques, which included mapping land use, with a focus on sugarcane in a temporal sequence for the years 1985, 1995, 2005, 2010, 2016, and 2019; mapping the Agricultural Suitability of Land Use in the region; vectorization of logistical systems for ethanol distribution planned and implemented in southwestern Goiás and its bordering areas; and geospatial analysis of this process, integrating the dynamics of sugarcane expansion with the physical environment and infrastructure. The results of this study showed that the changes in land use driven by sugarcane initially relied on natural pedological conditions as the main production factor. Subsequently, technological systems for production distribution focusing on low-cost transportation were utilized, forming the pedo-logistic composition of sugarcane, marking a new phase of agricultural modernization in the region.
Keywords: land use changes; agricultural suitability of land use; technology; production cells.

Introdução

A crescente demanda mundial por novas matrizes energéticas, relacionada com crise ambiental global, promoveram uma intensa busca por novas matrizes sustentáveis em relação aos derivados do petróleo. O etanol oriundo da cana-de-açúcar ganhou grande destaque internacional por ser um importante substituto dos combustíveis fósseis com menor potencial poluidor (Unica, 2008).

O Brasil ganhou destaque como o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar do Mundo, utilizando em grande escala esta tecnologia energética na frota veicular nacional desde a década de 1970. O uso dos

Submissão: 14/09/2024 Aceite: 07/04/2025 Publicação: 05/06/2025

v.14, n.2, 2025 • p. 203-224. • DOI http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2025v14i2p.203-224

© 2021 by the authors. Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratização mundial do conhecimento. Este manuscrito é distribuído nos termos da licença Creative Commons – Atribuição - NãoComercial 4.0 Internacional (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode), que permite reproduzir e compartilhar o material licenciado, no todo ou em parte, somente para fim não comercial; e produzir, reproduzir, e compartilhar material adaptado somente para fim não comercial.

biocombustíveis como alternativa ao petróleo foi impulsionado pela instabilidade das crises internacionais do mercado de combustíveis que geraram intensa alta nos preços. Desde então, o país passou pelo aumento das suas áreas produtivas de cana-de-açúcar, sobretudo, a partir dos anos 2000, período de aumento da demanda mundial por combustíveis renováveis mais sustentáveis, inserindo o Brasil em destaque no cenário mundial (Gomes & Fernandes 2014). Neste mesmo período o mercando brasileiro de automóveis passou a adotar os motores bicombustíveis, movidos por etanol e, também, com gasolina, ampliando a demanda também no mercado interno (Pietrafesa et al. 2016).

Desde o início da implementação do etanol brasileiro, como um combustível substituto à gasolina, o setor desenvolveu novas tecnologias que modernizaram a produção sucroalcooleira nacional. Os avanços ocorreram concomitantemente com a implementação de novas políticas públicas ambientais, relacionadas com o Plano Nacional de Agroenergia, que trouxeram um modelo de produção de biocombustíveis de terceira geração com maior aproveitamento dos resíduos e com maior controle territorial da produção (Bittencourt & Gomes 2014; Gomes & Fernandes 2014; Manzatto et al. 2009).

Neste contexto, o setor sucroalcooleiro brasileiro se estruturou inicialmente sobre dois eixos regionais, sendo que o primeiro consolidado na região Nordeste e o segundo na região Sudeste do país. A intensificação desta expansão promoveu a migração destes eixos para as áreas de Cerrado brasileiro, destacando-se o estado de Goiás, especificamente o Sudoeste Goiano, região de avanço da fronteira de agricultura intensiva (Trindade, 2015).

O modelo de expansão sucroenergética no Sudoeste Goiano ocorre diante da sobreposição tecnológica das culturas de menor nível de tecnologia *per capta*. O setor canavieiro promove a substituição de áreas de grãos, pastagens e de vegetação nativa, induzidas pelas condições pedológicas, sobretudo, a aptidão agrícola do uso das terras que influenciam a produção de cana/hectare e os fatores logísticos de escoamento, implementados por meio de investimentos públicos que conseguem minimizar os impactos econômicos do escoamento da produção (Barbalho *et al.* 2013; Castilho 2015).

As áreas de Cerrado contempladas no Sudoeste Goiano alcançaram uma produção sucroenergética dentro da proposta que compõe a relação dos fatores pertinentes com os solos e o escoamento dos biocombustíveis para os grandes centros comerciais. O objetivo deste estudo se volta a compreender a dinâmica da expansão sucroenergética nesta região por meio dos fatores edáficos e antrópicos. Este processo será abordado por meio da compreensão da expansão canavieira na região, propondo a relação intrínseca da dinâmica espacial da produção do etanol dentro da influência dos fatores da aptidão do uso das terras e o planejamento e implementação dos modais logísticos.

Materiais e Método

O desenvolvimento desta pesquisa se baseia em quatro etapas, que consistiram na discussão da expansão sucroenergética no Sudoeste Goiano apresentando a dinâmica da cana-de-açúcar e das principais classes de uso do solo presentes na região; em seguida discute-se a influência da aptidão agrícola do uso das terras sobre o modelo de expansão durante o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL) e do Plano Nacional de Agroenergia (PNA), na perspectiva da busca por melhores solos; na terceira parte se analisa a influência dos sistemas logísticos na estrutura espacial do setor na região; por último, realiza-se a análise integrada do comportamento multitemporal das células sucroenergéticas no Sudoeste goiano (Figura 1).

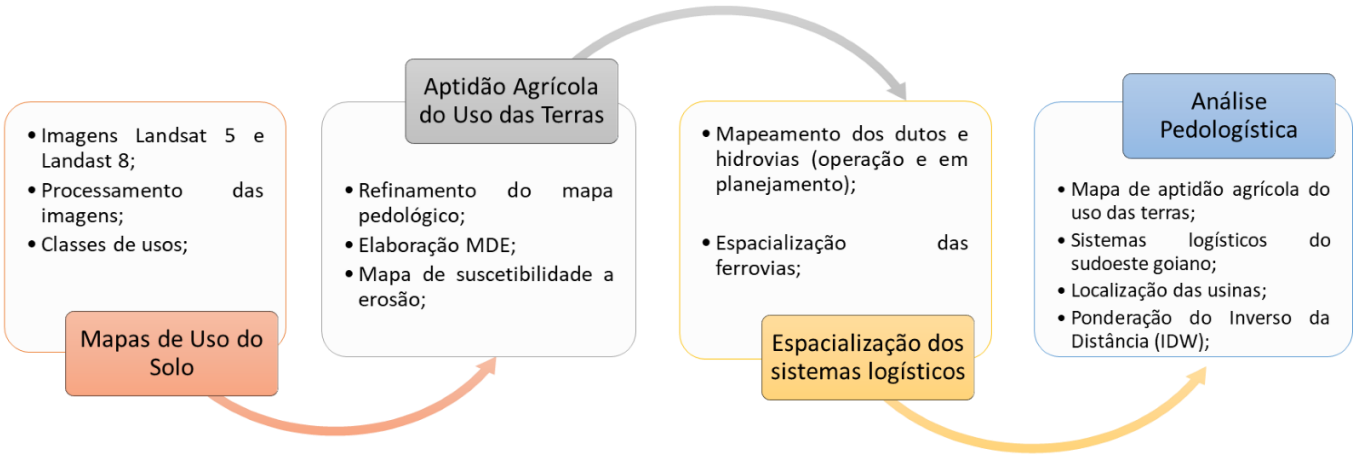

Figura 1. Procedimentos metodológicos da pesquisa. Organizador: o autor (2021).

A primeira etapa da pesquisa consistiu na elaboração dos mapas de uso do solo da Região do Sudoeste Goiano destacando-se as classes de usos referentes à agricultura, pastagens, cana-de-açúcar, vegetação, massa de água ou drenagem e áreas urbanas. O desenvolvimento dos mapas de uso do solo ocorreu por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto e de Geoprocessamento, utilizando imagens do Satélite Landsat 5, que contemplou os anos de 1985, 1995, 2005, 2010, e do Satélite Landsat 8, que contemplou os anos de 2013, 2016 e 2019, respetivamente com as cenas 224/72, 223/72,222/72, 224/73,223/73, 222/73. A partir destas imagens realizou-se*:* a) a composição colorida nas bandas R (3), G(4), B(5); b) a correção geométrica (georreferenciamento) das imagens Landsat 5, com base nas imagens Landsat 8; c) a segmentação por similaridade e a classificação supervisionada por regiões que agrupou as áreas a partir da resposta espectral dos grupos de pixels semelhantes que geraram dados no formato *Raster*; d) a conversão destes dados para o formato *Shapefile*, classificando-os a partir da interpretação dos grupos de polígonos, em escala de 1:50.000, analisando as áreas de cana-de-açúcar a partir da foto intepretação da resposta espectral dos alvos, considerando o padrão das formas, a cor, a tonalidade, a geometria e a textura. Estas etapas foram desenvolvidas utilizando os softwares Envi 5.1, Spring 5.4.3 e o Arcgis 10.3, dos quais se calcularam as áreas das classes de usos selecionadas gerando as tabelas em hectares trabalhadas no Excel e representadas as mudanças de uso do solo por meio do Diagrama de Sankey (Pimentel et al. 2011; Trindade 2015; Duarte & Silva 2019).

A segunda etapa da pesquisa consistiu na análise da expansão sucroenergética em relação à Aptidão Agrícola do Uso das Terras no Sudoeste Goiano. Nesta fase, desenvolveu-se o mapa de aptidão agrícola com base na metodologia de Ramalho Filho & Beek (1995), que consideram a determinação da representação cartográfica dos métodos de manuseio das terras em relação aos atributos físico/químicos dos solos, relacionados com os fatores de limitação de uso, compreendidos pela deficiência de fertilidade, pela deficiência de água, pelo excesso de água ou a deficiência de oxigênio, a suscetibilidade a erosão e os impedimentos a mecanização.

Para isso, foi utilizado o Software Arcgis 10.3 por meio do qual se desenvolveu o mapa pedológico do Sudoeste Goiano a partir da técnica de refinamento das bases cartográficas de solos da Embrapa Solos e do Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG), para a escala de 1:100.000, classificando-os no terceiro nível categórico, conforme desenvolvido por Trindade (2015). Realizou-se a elaboração do mapa de declividade a

partir da obtenção do Modelo Digital de Elevação do Relevo das imagens Topodata, com os intervalos de 0-6%; 6-12%; 12-20%, 20-45% e >45% (Bertoni & Lombardi Neto 1985; Ramalho Filho & Beek 1995).

Seguidamente, elaborou-se o mapa de suscetibilidade de erosão laminar que classificou o potencial erosivo da região nas classes de pouco a não suscetível, pouco suscetível, moderadamente suscetível, muito suscetível e extremamente suscetível à erosão (Bertoni; Lombardi Neto, 1985). Por último, elaborou-se o mapa das áreas de conservação, que consistiu no mapeamento das Área de Proteção Permanente-APP e das Unidades de Conservação do Sudoeste Goiano (Barbalho et al. 2013).

A elaboração do mapa de Aptidão Agrícola do Uso das Terras teve como base os mapas ambientais do meio físico, que consideraram os seguintes fatores, segundo Ramalho Filho & Beek (1995): 1) os níveis de manejo, classificados em nível de manejo A (primitivo) com práticas agrícolas com baixo nível técnico; nível de manejo B (pouco desenvolvido) com um nível médio de tecnologia; e o nível de manejo C (desenvolvido), relacionado com intenso uso de tecnologia; 2) os grupos de aptidão agrícola que correspondem aos números de 1 a 6, sendo que 1,2 e 3 estão relacionados com o grupo de lavouras, conforme o seu nível de manejo; 4, 5 e 6 que correspondem a utilização de pastagens plantadas, silvicultura e/ou pastagem natural e áreas destinadas à preservação da fauna e flora, conforme o quadro 1:

Quadro 1: Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras.

Classes de Aptidão Agrícola	**Tipos de Utilização**					
	Lavoura			**Pastagem Plantada**	**Silvicultura**	**Pastagem Natural**
	Nível de Manejo A, B, C			Nível de Manejo B	Nível de Manejo C	Nível de Manejo A
Boa	A	B	C	P	S	N
Regular	A	b	c	p	s	n
Restrita	(a)	(b)	(c)	(p)	(s)	(n)
Inapta	-	-	-	-	-	-

Fonte: Ramalho Filho & Beek (1995).

As classes de aptidão agrícola no Sudoeste Goiano, considerando o modelo metodológico adotado, foram classificadas de acordo com os seus grupos, tipos de usos e nível de manejo segundo a tabela 1:

Estes dados foram analisados juntamente com a expansão canavieira, dentro do período de 1985 a 2019, dos quais também se considerou a relação tecnológica (para lavouras) com os grupos de manejo da tabela anterior, classificados na classe 1 (Intenso Uso Tecnológico), classe 2 (Médio Uso Tecnológico), classe 3 (Baixo Uso Tecnológico), classe 4 e 5 (Restritas) e classe 6 (Conservação).

A terceira etapa desta pesquisa se baseou na espacialização dos sistemas logísticos constituídos e em planejamento para uso exclusivo do etanol e outros tipos. Esta etapa visou a elaboração dos traçados do Sistema Multimodal de Transporte do Etanol e o traçado Ferroviário influente no Sudoeste Goiano, a Ferrovia Norte-Sul e a Ferro-Norte. O desenvolvimento do primeiro sistema incidiu a partir da criação de arquivos *shapefile* com os traçados dos dutos e hidrovias propostos pelo Consórcio Público Privado da Logum (2020). Esta etapa contou com a criação dos vetores das dutovias e hidrovias, em operação e em planejamento, apresentados pelo consórcio que abrange a região Centro-Sul. Os dados do trajeto deste sistema multimodal foram desenvolvidos por meio do software Arcgis 10.3 com o auxílio de imagens de satélites Landsat 8.

Tabela 1: Classificação da aptidão agrícola do uso das terras no Sudoeste Goiano.

Grupo	Uso	Classe APT	Legenda
1	Lavouras	1 ABC	Terras pertencentes à classe de aptidão boa para lavouras nos níveis de manejo A, B e C.
		1 ABc	Terras pertencentes à classe de aptidão boa para lavouras nos níveis de manejo A e B e regular no nível C.
		1 bC	Terras pertencentes à classe de aptidão boa para lavouras no nível de manejo C, e regular no nível B e inapta no nível A.
		1 A(b)	Terras pertencentes à classe de aptidão boa para lavouras no nível de manjo A, restrita no nível de manejo B e inapta no nível C.
2		2 bc	Terras pertencentes à classe de aptidão média para lavouras no nível de manejo B e C, inaptas ao nível de manejo A.
		2 ab(c)	Terras pertencentes à aptidão média para lavouras nos níveis de manejo A e B, restritas ao nível de manejo C.
		2 ab	Terras pertencentes à aptidão média para lavouras nos níveis de manejo A e B e inapta no nível de manejo C.
		2 a(b)	Terras pertencentes à aptidão média para lavouras, nos níveis de manejos A restritas nos níveis de manejo B e inaptas no nível de manejo A.
		2 (ab)	Terras pertencentes à aptidão regular para lavouras nos níveis de manejo A e B, inapta para o nível de manejo C.
3		3 (ab)	Terras pertencentes à aptidão restrita para lavouras nos níveis de manejo A e B, e inapta no nível de manejo C.
4	Pastagem Plantada	4p	Terras pertencentes à classe de aptidão média para pastagens plantadas.
		4 (p)	Terras pertencentes à classe de aptidão restrita para pastagens plantadas.
5	Pastagem Natural e/ou Silvicultura	5 s	Terras pertencentes à classe média para silvicultura.
		5 (s)	Terras pertencentes à classe restrita para silvicultura.
		5 sn	Terras pertencentes à classe média para silvicultura e pastagem natural.
		5 (sn)	Terras pertencentes à classe restrita para silvicultura e pastagem natural
6	Restrições de Uso	6	Terras sem aptidão para uso agrícola e restrição ambiental.

Fonte: o autor (2021).

O segundo sistema logístico presente no Sudoeste Goiano, com potencial para transporte de biocombustíveis, é o ferroviário. Os traçados destes sistemas foram realizados com a compilação de arquivos da Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT), que foram corrigidos por meio de imagens de satélites Landsat 8. Com os dois modais logísticos estruturados se fez a análise das áreas da expansão sucroenergética na região de estudo.

A última etapa desta pesquisa consistiu na análise dos dados da aptidão agrícola dos usos das terras, dos sistemas logísticos multimodais presentes na região e a distribuição espacial das usinas sucroalcooleiras no Sudoeste Goiano de 1985 a 2019, denominada neste estudo como Composição Pedologística. Esta etapa se iniciou com a definição dos municípios de localização das usinas processadoras distribuídas no Sudoeste Goiano, que totalizaram 14 (quatorze) municípios com usinas em funcionamento no período estudado.

Estes dados foram analisados a partir da ferramenta geoestatística de Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW), disponível no Arcgis 10.3, seguindo o algoritmo: *Spatial Analyst Tools-Interpolation-IDW* e tendo como dados de entrada (*input*) a relação do número de usinas/município. Os resultados foram classificados a partir da sua concentração formando células de produção agroenergética. A partir da criação destas células produtivas se determinou a influência dos fatores pedológicos da aptidão e/ou logísticos na expansão das usinas na área de estudo.

Resultados e Discussões

A Expansão Sucroenergética no Sudoeste Goiano

O Sudoeste Goiano se localiza no estado de Goiás no Centro-Oeste do Brasil em área de Cerrado. A região de estudo tem apresentado, nos últimos anos, um aumento no número de usinas distribuídas em três importantes períodos correspondentes aos anos de 1946 a 1986, com três (03) usinas, de 2003 a 2009, com mais oito (08) usinas, e 2012 ao período atual, com mais cinco (05) usinas, totalizando-se 16 (dezesseis) unidades produtivas (Figura 2).

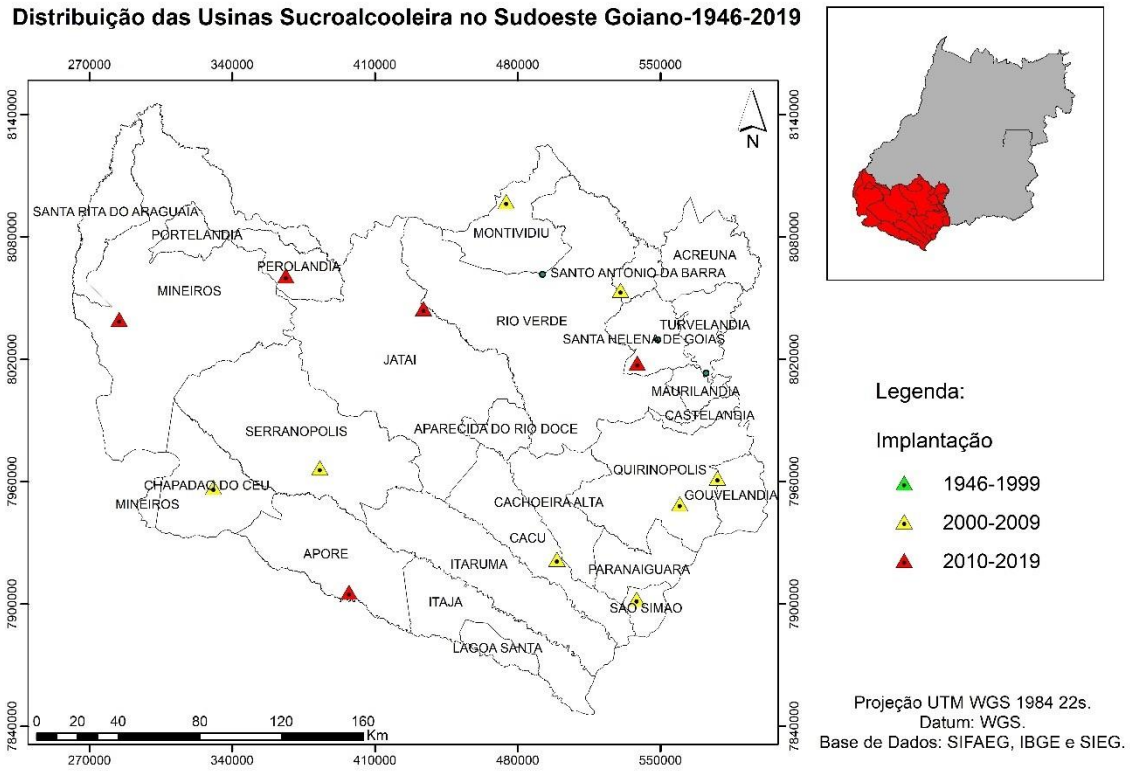

Figura 2. Avanço das usinas sucroalcooleiras na Região de Planejamento do Sudoeste Goiano.Fonte: SIFAEG, SIEG (2021).

Os resultados obtidos pela pesquisa apontam as mudanças espaciais durante as últimas quatro décadas em relação ao avanço da produção sucroenergética na região do Sudoeste Goiano, associadas ao aumento do número de usinas e das áreas plantadas por cana-de-açúcar. Os períodos analisados que correspondem aos anos de 1985, 1995, 2005, 2010, 2013, 2016 e 2019. Este recorte temporal contempla duas importantes fases da expansão da produção do etanol no Brasil e, também, no Sudoeste de Goiás, o período relacionado ao PROÁLCOOL (1975 a 1990) e ao Plano Nacional de Agroenergia (PNA), correspondente à recente expansão que se iniciou no ano 2000 até os dias atuais.

A análise multitemporal do uso dos solos evidenciou as mudanças no cenário agropecuário e natural das áreas de Cerrado, evidenciando os principais avanços e recuos das áreas de produção agrícola, considerando as classes de usos que passaram por influência da expansão sucroenergética representadas pela agricultura (culturas de grãos), cana-de-açúcar (áreas relacionadas com o setor agroenergético), pelas pastagens (áreas de produção de gado), vegetação (áreas nativas de Cerrado), drenagem (áreas de drenagens em geral) e as áreas urbanas (Figura 3).

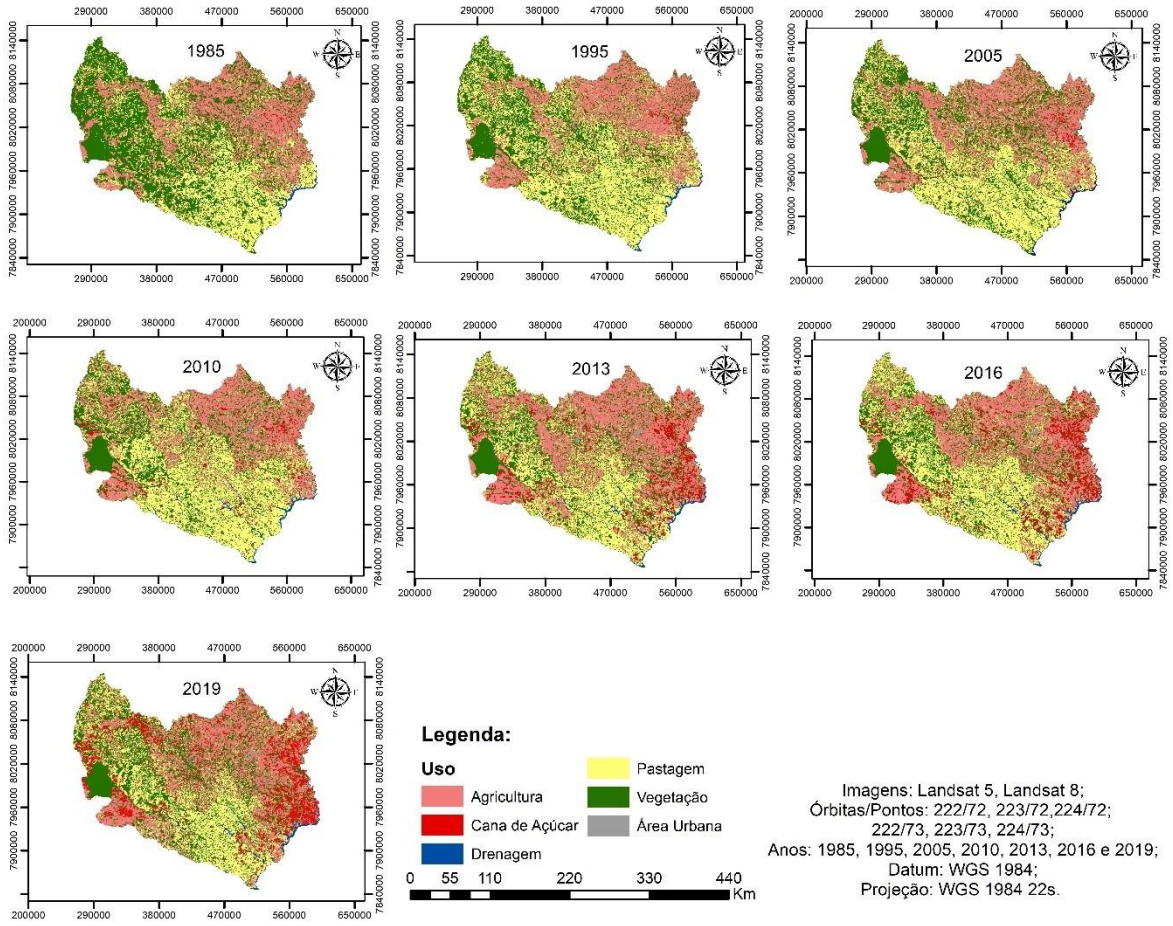

Figura 3. Uso dos solos no Sudoeste Goiano de 1985 a 2019. Fonte: o autor (2021).

As classes de usos dos solos selecionadas nesta pesquisa se alteraram diante das relações das matrizes econômicas e naturais, conforme se verifica nos dados da tabela 2.

Tabela 2 - Usos dos solos no Sudoeste Goiano-1985 a 2019 (Hectares).

Uso do Solo	1985	1995	2005	2010	2013	2016	2019
Agricultura	1.835.555,15	1.812.589,49	2.040.221,72	1.951.659,00	2.460.597,17	2.180.902,54	2.090.157,93
Pastagem	1.664.491,28	2.261.631,78	2.045.402,40	2.260.286,49	1.659.564,66	1.853.001,97	1.523.584,87
Vegetação	2.594.061,05	1.997.667,04	1.954.333,47	1.713.394,99	1.606.437,98	1.574.223,31	1.863.554,10
Cana de Açúcar	7.677,88	25.356,45	50.838,37	143.729,53	340.832,82	452.427,80	589.241,22
Drenagem	32.309,10	35.745,82	41.790,27	59.325,11	59.484,53	61.510,44	61.961,17

Uso do Solo	1985	1995	2005	2010	2013	2016	2019
Área Urbana	8.053,95	9.157,83	9.562,19	13.753,30	15.231,25	20.082,34	13.649,12
Total	**6.142.148,41**	**6.142.148,41**	**6.142.148,41**	**6.142.148,41**	**6.142.148,41**	**6.142.148,41**	**6.142.148,41**

Fonte: o autor (2021).

Com base na tabela anterior é possível identificar que as três maiores classes de usos presentes na Região Sudoeste de Goiás são a agricultura, as pastagens, a vegetação nativa e um intenso crescimento das áreas de cana-de-açúcar para produção agroenergética. As áreas agrícolas se iniciaram no período analisado com uma área ocupada de 1.835.555,15 ha e chegando a maior classe na região com 2.090.157,93 ha. As áreas de pastagens também se mostraram de elevada presença regional, iniciando-se com 1.664.491,28 ha e alcançando o seu auge de 2.260.286,49 ha em 2010. As áreas de vegetação nativa, correspondentes aos remanescentes de Cerrado, passaram por uma intensa redução, partindo de 2.594.061,05 ha registrando sua menor área de ocupação, 1.574.223,31 ha em 2013, que podem ser visualizadas na figura 4.

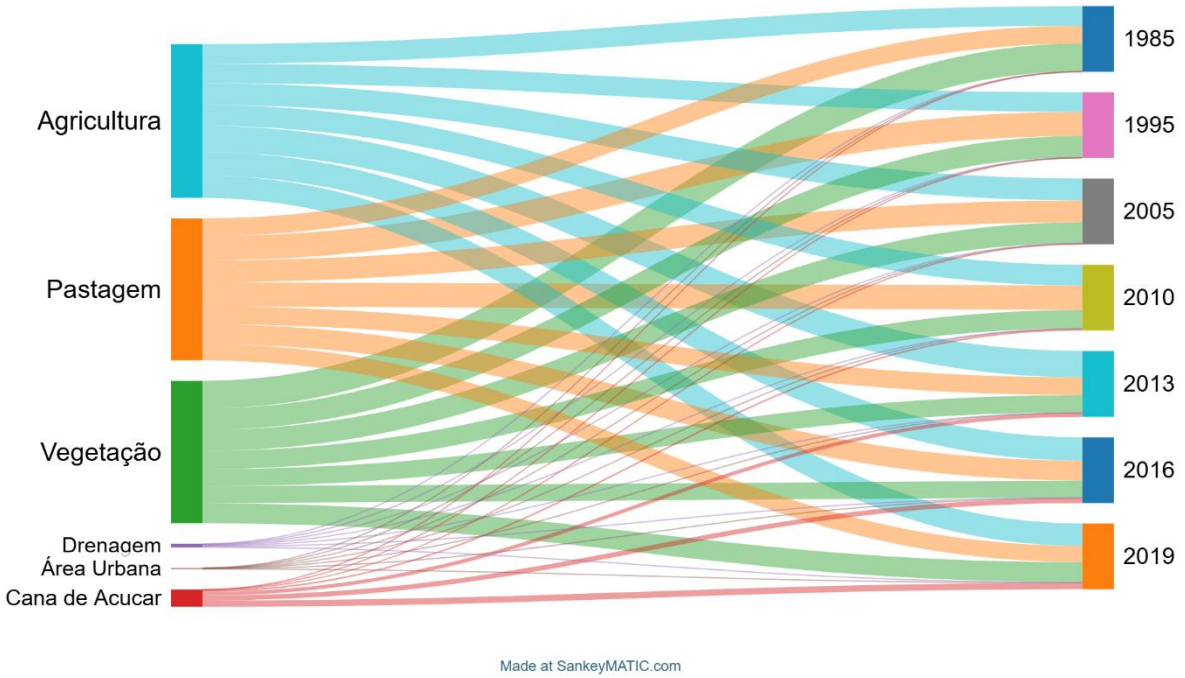

Figura 4. Diagrama de Sankey com as mudanças de uso do solo. Fonte: dados do uso do solo. Organização: autor (2021).

Com base nos resultados das análises multitemporais do uso do solo, aA distribuição das áreas canavieiras na região Centro-Sul do Brasil, incluindo Goiás, indicam um intenso aumento relacionado com o período da nova expansão correspondente ao PNA (Rudorff & Sugawara, 2007). Este cenário é reproduzido no Sudoeste Goiano dentro desta expansão, a qual se intensificou entre os anos de 2005 e 2019, conforme demonstra a figura 5.

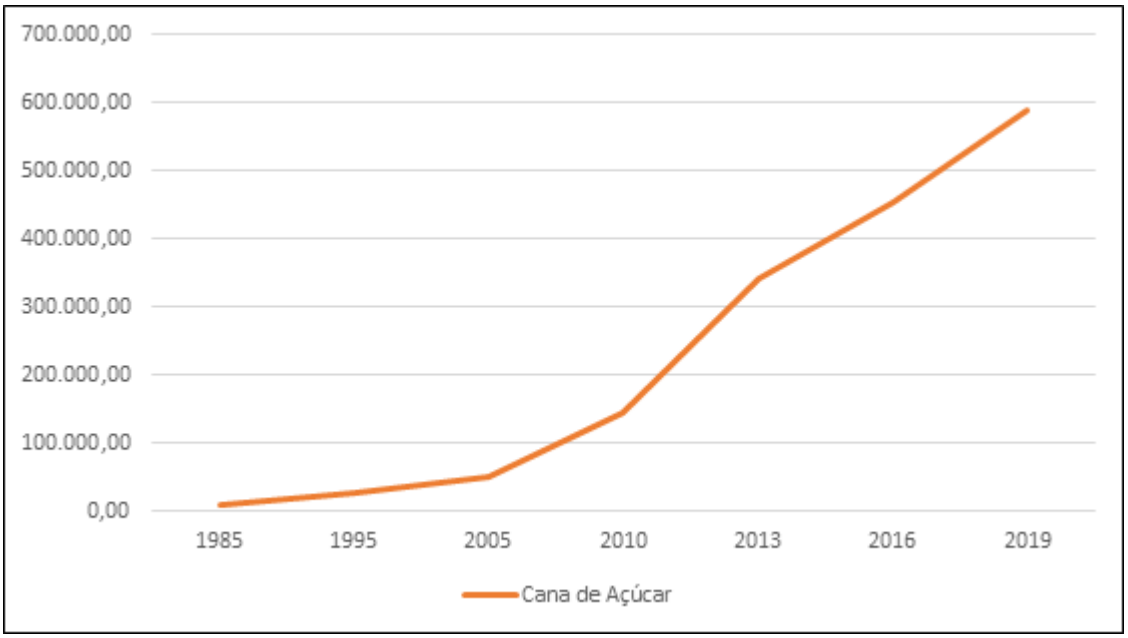

Figura 5. Expansão da cana-de-açúcar no Sudoeste Goiano (Hectares). Fonte: o autor (2021).

Os resultados mais recentes do uso do solo analisados mostraram um avanço ininterrupto do setor sucroalcooleiro e a recomposição e/ou manutenção da vegetação nativa. Este fenômeno pode ser explicado, segundo os estudos de Abramovay (2019), que descreve duas realidades no cenário de fronteira agrícola que apresenta dois processos: a fronteira tradicional e a fronteira tecnológica. A fronteira tradicional ocorre diante das convenções de uso do solo através da supressão direta de terras com cobertura de vegetação nativa convertidas para a agropecuária.

A fronteira tecnológica está relacionada com o processo que emprega práticas de modernização tecnológica, que alcançam intensos resultados na produtividade, ampliando o uso intenso das áreas já desmatadas. Esta diminuição da supressão da vegetação pode estar associada ao conceito da Hipótese de Borlaug, expressão associada com a relação da intensificação tecnológica da agricultura, que aumenta a produtividade e reduz as necessidades de avanços sobre áreas de vegetação nativa, protegendo os biomas (Borlaug 1983).

Uma possível redução no avanço da supressão da vegetação no Sudoeste Goiano, pode estar relacionado com este desenvolvimento tecnológico associado com a dinâmica sucroenergética, que amplia a produtividade por hectares e que não demanda de novas áreas, diminuindo a pressão ambiental dentro da substituição direta dos recursos florestais.

Desse modo, Abramovay (2019) mostrou que essa fronteira tecnológica da agricultura brasileira, a qual tem sido aplicada na região, apresenta que a produção agrícola modifica o seu padrão, saindo de um intensivo em terra para um intensivo em tecnologia, representando um avanço também descrito por Cunha *et al.* (2010), em que o caminho do aumento tecnológico da agricultura apresenta restrições aos custos ambientais, diminuindo a competição por terras, água e energia.

Nessa perspectiva, o modelo de alta performance adotado pelo setor sucroenergético brasileiro pode representar sinais de redução das pressões ambientais, atenuando as conversões diretas de florestas para as lavouras de cana.

A cana-de-açúcar no Sudoeste Goiano se mostrou como a cultura que cresce, de forma ininterrupta, desde a implementação das primeiras políticas de incentivo à produção e comercialização do etanol, desde a década de 1980. Desde então, ocorreram os avanços e consolidação da região de estudo como sendo uma das principais

áreas de produção agrícola do Brasil, sobretudo os complexos agroindustriais da carne, grãos e dos biocombustíveis.

Assim, o sistema relacionado com o avanço e a competição destas práticas econômicas, nas áreas de Cerrado, em específico sobre a vegetação nativa, se faz por meio da abertura dos espaços pelas pastagens que são preenchidos, posteriormente, pelas práticas econômicas de maior nível tecnológico, sendo convertidos pelas práticas agrícolas modernizadas e pela produção de biocombustíveis, que concorrem por áreas de maior produtividade correspondentes aos solos de melhor aptidão agrícola (Trindade 2015).

Aptidão Agrícola do Uso das Terras e a Expansão Sucroenergética no Sudoeste Goiano

A aptidão agrícola do uso das terras é um modelo desenvolvido para avaliar os melhores usos das terras, sejam esses para lavouras, pastagens, silvicultura ou para a preservação. Essa aptidão visa classificar as terras em boas, regulares, restritas e/ou inaptas para estes usos, considerando as condições naturais dos solos em relação aos seus fatores de limitação que são a deficiência de fertilidade, a deficiência de água, o excesso de água ou deficiência de oxigênio, a suscetibilidade a erosão e os impedimentos a mecanização. Esta análise estabelece o melhor uso indicado e o seu respectivo nível de manejo com base no maior ou menor envolvimento de tecnologias agrícolas (Ramalho Filho & Beek 1995).

Segundo os dados levantados a partir da classificação da aptidão agrícola do uso das terras, há no Sudoeste Goiano o predomínio de solos de elevada e média aptidão para uso de lavouras mecanizadas. A área de estudo registrou 23% de solos aptos para elevado uso tecnológico, 36% para uso intermediário de tecnologias, 0,06% para baixo uso de tecnologias, 33% com restrições de usos e 8% para uso exclusivo de conservação (Figura 6). A maior presença da classe de Latossolos, em áreas de baixa declividade, permite o desenvolvimento de uma agricultura com elevado nível de mecanização tornando-se atrativo para a produção das *commodities*, sobretudo o setor sucroenergético.

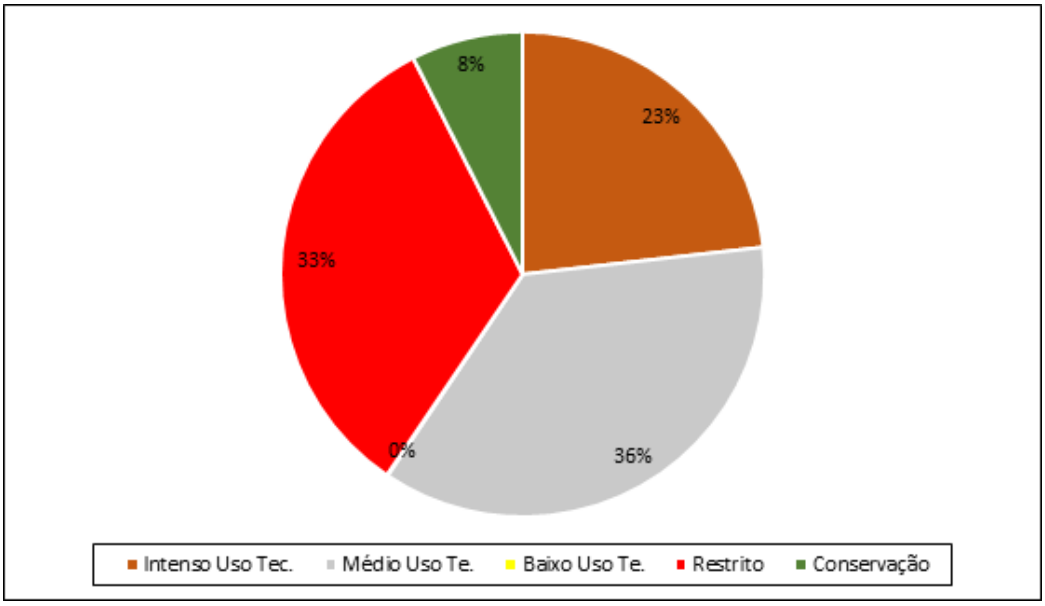

Figura 6. Aptidão agrícola do uso das terras no Sudoeste Goiano. Fonte: o autor (2021).

Os complexos produtivos da cana-de-açúcar, na região Sudoeste de Goiás, se desenvolveram, inicialmente, a partir do aproveitamento das melhores classes de aptidão agrícola, tornando-se uma produção menos seletiva durante o avanço do último ciclo de expansão, conforme pode ser observado na figura 7.

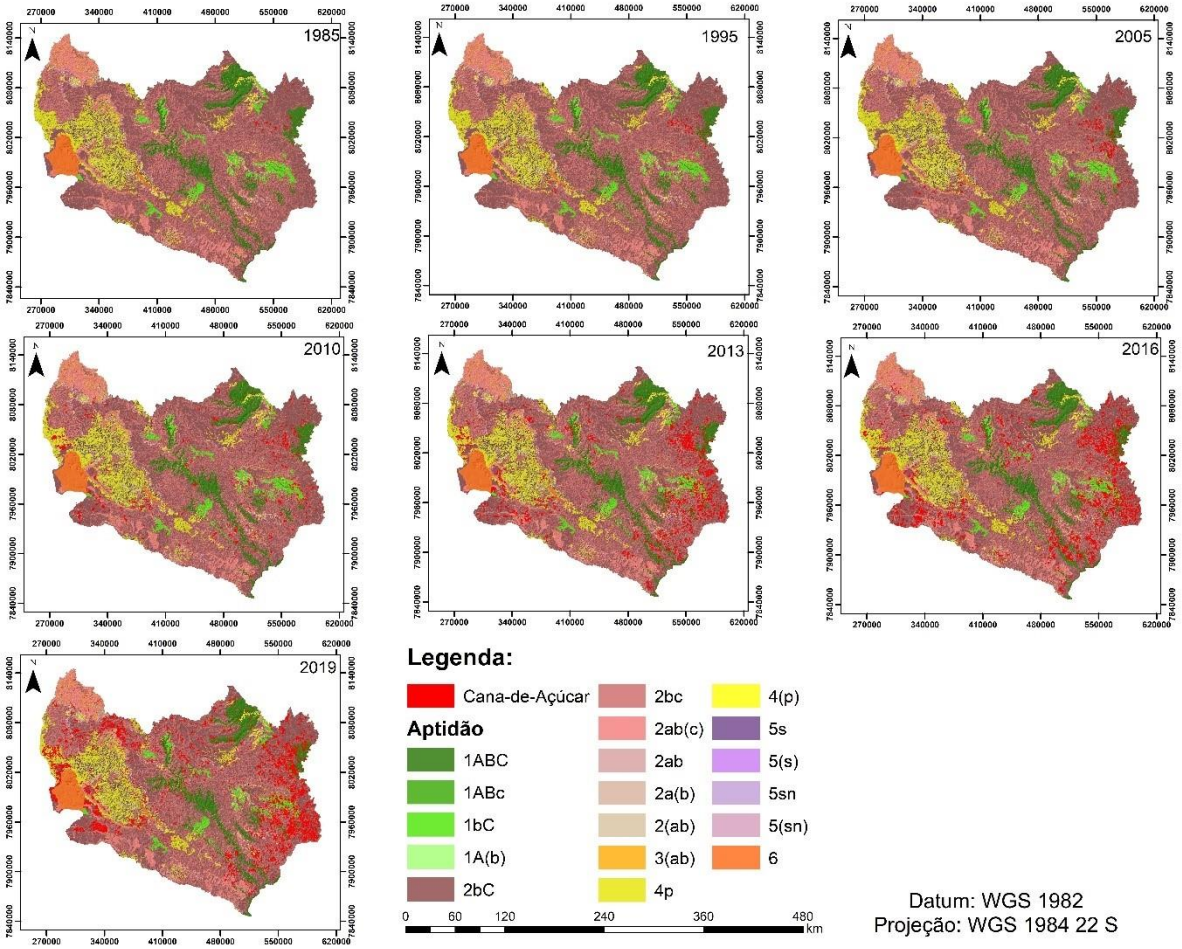

Figura 7. Aptidão Agrícola das Terras e a Produção de Cana-de-Açúcar no Sudoeste Goiano - 1985 a 2019. Fonte: o autor (2021).

A progressão canavieira pode ser mais bem observada por meio da tabela 3, que representa o predomínio dos plantios de cana nas áreas de aptidão agrícola na classe 1ABC, terras com aptidão boa para lavouras nos níveis de manejo A, B e C, na classe 1 bC, terras boas para o nível de manejo C, regular no nível B e inapta no nível A, e na classe 2 bc, terras regular para o nível de manejo C e B e inapta no A

Tabela 3 - Avanço da cana-de-açúcar no Sudoeste Goiano em relação à Aptidão Agrícola do Uso das Terras.

Classe APT	1985	%	1995	%	2005	%	2010	%	2013	%	2016	%	2019	%
1 ABC	916,7	11,96	3.356,97	13,26	4.299,41	8,46	7.144,97	4,97	20.909,44	6,13	29.510,54	6,531	35.624,15	6,05
1 Abc	0,08	0	48,71	0,19	129,96	0,26	201,59	0,14	955,9	0,28	1.002,06	0,222	1.445,99	0,25
1 bC	2.003,94	26,15	7.439,59	29,39	15.836,75	31,15	40.986,96	28,53	99.657,06	29,24	134.722,81	29,815	168.078,93	28,55
1 A(b)	0	0	0	0	0	0	2,48	0	38,61	0,01	43,52	0,01	75,21	0,01
Total Parcial	***2920,72***	***38,11***	***10.845,27***	***42,84***	***20.266,12***	***39,87***	***48.336,00***	***33,64***	***121.561,01***	***35,66***	***165.278,93***	***36,578***	***205.224,28***	***34,86***
2 bc	2.003,94	26,15	7.439,59	29,39	15.836,75	31,15	40.986,96	28,53	99.657,06	29,24	134.722,81	29,815	168.078,93	28,55
2 ab(c)	31,3	0,41	388,79	1,54	770,51	1,52	5.541,84	3,86	13.456,23	3,95	16.975,40	3,757	18.518,54	3,15
2 ab	0	0	8,09	0,03	0	0	8,9	0,01	21,69	0,01	11,27	0,002	47,99	0,01
2 a(b)	0	0	84,22	0,33	97,78	0,19	1.022,62	0,71	888,77	0,26	1.157,97	0,256	2.201,31	0,37
2 (ab)	0	0	6,52	0,03	1,67	0	74,7	0,05	33,06	0,01	52,18	0,012	94,98	0,02
Total Parcial	***2.035,24***	***26,56***	***7.927,21***	***31,32***	***16.706,71***	***32,86***	***47.635,02***	***33,16***	***114.056,81***	***33,47***	***152.919,63***	***33,842***	***188.941,75***	***32,1***
3 (ab)	0	0	16,28	0,06	55,18	0,11	740,37	0,52	1.279,95	0,38	1.423,67	0,315	2.762,24	0,47
Total Parcial	***0***	***0***	***16,28***	***0,06***	***55,18***	***0,11***	***740,37***	***0,52***	***1.279,95***	***0,38***	***1.423,67***	***0,315***	***2.762,24***	***0,47***
4p	0	0	273,37	1,08	419,76	0,83	8.189,01	5,7	17.501,46	5,13	14.152,05	3,132	31.664,43	5,38
4 (p)	0	0	137,84	0,54	151,3	0,3	1.628,60	1,13	2.627,31	0,77	3.548,83	0,785	6.431,37	1,09
Total Parcial	***0***	***0***	***411,21***	***1,62***	***571,06***	***1,13***	***9.817,61***	***6,83***	***20.128,77***	***5,9***	***17.700,88***	***3,917***	***38.095,80***	***6,47***
5 s	0	0	123,26	0,49	45,17	0,09	648,83	0,45	2.055,42	0,6	1.511,20	0,334	3.548,05	0,6
5 (s)	0	0	209,4	0,83	122,15	0,24	1.756,87	1,22	2.390,55	0,7	3.738,30	0,827	7.066,17	1,2
5 sn	0	0	0	0	0	0	62,24	0,04	246,9	0,07	164,82	0,036	302,3	0,05
5 (sn)	0	0	0	0	0	0	17,42	0,01	81,59	0,02	162,51	0,036	151,57	0,03
Total Parcial	***0***	***0***	***332,66***	***1,32***	***167,32***	***0,33***	***2485,36***	***1,72***	***4.774,46***	***1,39***	***5.576,83***	***1,233***	***11.068,09***	***1,88***

Classe APT	1985	%	1995	%	2005	%	2010	%	2013	%	2016	%	2019	%
6	215,22	2,81	919,57	3,63	1.109,48	2,18	3.117,35	2,17	7.777,96	2,28	8.189,07	1,812	11.713,93	1,99
Total Parcial	***215,22***	***2,81***	***919,57***	***3,63***	***1.109,48***	***2,18***	***3.117,35***	***2,17***	***7.777,96***	***2,28***	***8.189,07***	***1,812***	***11.713,93***	***1,99***
Total	**7.662,98**	**100**	**25.316,96**	**100**	**50.835,34**	**100**	**143.684,65**	**100**	**340.880,82**	**100**	**451.861,66**	**100**	**588.700,69**	**100**

Fonte: o autor (2021

Os dados anteriores mostraram uma intensa busca pelas melhores áreas de produção relacionadas com as classes de aptidão 1 ABC, 1 Abc, 1Bc, 1 A(b), que favorecem maior parte dos investimentos de capitais dentro de uma produção intensiva de elevado emprego tecnológico. Estes resultados apontam uma concentração da produção sucroenergética com taxa de ocupação entre 34,86% a 42,84% das melhores terras agrícolas, saindo de 2920,72 hectares em 1985, chegando a ocupar uma área de quase 205.224,28 hectares, em 2019, dos solos de melhor uso tecnológico. Durante todo o período analisado também se observou o avanço sucroalcooleiro para terras de aptidão 2bc, 2 ab(c), 2 ab, 2 a(b), 2 (ab), que são áreas regulares/restritas para lavouras. A ocupação destas classes variou de 26,56% a 33,47%, iniciando a ocupação 2.035,24 hectares em 1985 chegando a 188.941,75 hectares em 2019.

Considerando os grupos gerais de aptidão agrícola se observa que a cana-de-açúcar no Sudoeste Goiano intensificou o seu avanço sobre os solos com aptidão boa e, também, para as áreas regulares/restritas para agricultura, além das áreas com aptidão para pastagens, sobretudo, a partir de 2005 a 2019 com efeitos do Plano Nacional de Agroenergia (PNA) (figura 8).

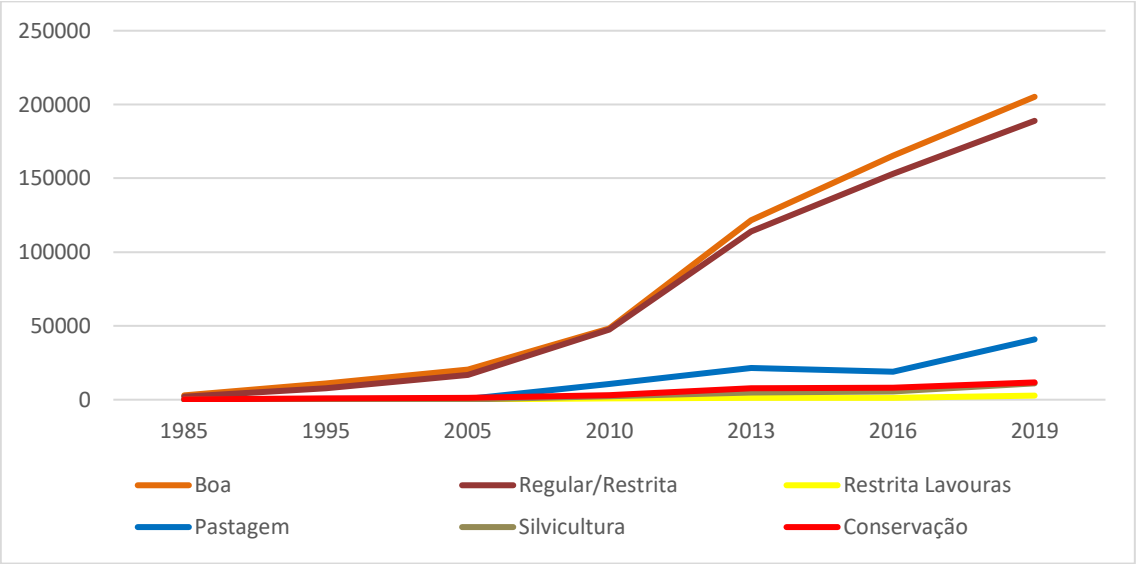

Figura 8. Avanços sobre as classes de aptidão. Fonte: o autor (2021).

O avanço do setor sucroenergético para terras com aptidão intermediária para agricultura mostra que o complexo agroindustrial do etanol, que sempre evidenciou as terras mais aptas para o maior emprego de capital, ampliou as suas áreas produtivas criando um cenário para a fronteira agrícola no Cerrado. Este processo reforça as bases para o planejamento da expansão a partir dos princípios do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar (ZAEcana), que segundo Manzatto *et al.* (2009) ocorreria sobre terras de aptidão média, sobretudo para áreas de pastagens degradadas.

Assim, a dinâmica da expansão canavieira no Sudoeste Goiano se baseou na análise produtiva organizada pela qualidade das terras, e este processo sugere que o envolvimento das áreas produtivas superiores pode estar associado ao descrito por Chieppe Jr. (2015), que relaciona este perfil produtivo ao preço baixo das terras e à alta rentabilidade, cenário que foi transformado com a disputa territorial dos demais complexos agroindustriais instalados na região durante o último ciclo agroenergético, forçando o avanço para áreas menos aptas de menor produtividade, mas tendo os investimentos em infraestrutura como elemento compensador.

3Os Sistemas Logísticos e a Expansão Canavieira no Sudoeste Goiano

O escoamento do setor sucroenergético é um dos grandes gargalos da produção do etanol brasileiro e deve ser analisado dentro de um contexto de abrangência nacional. O desafio de aproximar o setor produtivo aos mercados consumidores criou a justificativa para novos investimentos logísticos para atender o mercado do etanol, sendo instrumento para desenvolvimento econômico regional. A nova dinâmica da expansão sucroenergética, no Sudoeste Goiano, passa pela influência dos equipamentos logísticos planejados e implementados na região, criando condições produtivas baseadas na conectividade das regiões produtoras com os mercados consumidores dos grandes centros nacionais e internacionais.

Os investimentos para interligar as áreas de produção de etanol aos sistemas de distribuição e de exportação são compreendidos, neste estudo, como uma nova etapa da modernização agrícola, baseada na Composição Pedologística da agricultura, relacionada com a aptidão agrícola das terras e com a logística. Neste conceito, a agroindústria sucroenergética busca as melhores condições físicas das terras por meio dos solos mais aptos para agregar o intenso uso de tecnologias agrícolas já empregadas no setor, ampliados pelo processo de modernização dos modais de escoamentos logísticos. Assim, há uma importante relação com os preços das

terras e a dinâmica sucroenergética, sendo que a logística se tornou um instrumento justificativo para a o uso de terras de aptidão agrícola inferiores.

O Sudoeste Goiano vem ampliando a sua produção por meio do aumento de usinas beneficiadoras e, consequentemente, das suas áreas plantadas em forma constante durante os últimos anos. Este processo ocorreu, sobretudo, diante dos incentivos e planos governamentais para a ampliação das redes de produção de bioenergia no Brasil, passando pelo processo de interiorização da produção de etanol que se afasta dos grandes centros consumidores do país. Segundo Mitsutani (2010), esta interiorização ocorre em função do aumento dos preços e a escassez de terras aptas para o plantio da cana-de-açúcar, incentivando avanço da fronteira agrícola para o interior do país, em específico para o Sudoeste de Goiás.

O avanço produtivo do etanol, nesta região, ocorre por meio da concepção dos fatores pedológicos que garantem produtividade satisfatória em relação aos investimentos, impulsionada pelo fortalecimento logístico promovido pela conexão territorial desempenhada pelo poder público. Os sistemas produtivos agroenergéticos se beneficiam da criação do que é definido por Lima (2020), como os fixos públicos de cadeias de infraestrutura criada para conduzir a integração territorial para avançar a produção para os mercados.

O momento econômico, em relação à implementação do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC), contribuiu com a interiorização da produção canavieira, sobretudo na área de estudo, sendo marcada pelos novos investimentos em estruturas logísticas para o escoamento do etanol produzido no interior do país, incentivado por este Plano. Nessa perspectiva, as áreas de Cerrado foram beneficiadas pelos investimentos públicos-privados nos modais logísticos de transporte de etanol por meio do projeto do álcoolduto ou etanolduto, exclusivo do setor, e pelo modais ferroviários que podem atender vários complexos de agroindústrias diferentes localizados na região.

O sistema logístico multimodal de etanol foi idealizado a partir da formação de um consórcio liderado pela Logum Logística, formado por um consórcio de empresas públicas/privadas. Segundo dados da empresa, essa é composta pelas acionárias Copersucar (30%), Raizen (30%), Petrobras (30%) e Uniduto Logística (10%), que vem implantando paulatinamente um sistema modal exclusivo para a cana-de-açúcar que liga as regiões produtivas aos grandes centros urbanos consumidores e exportadores por meio de um sistema de dutos e hidrovias (Figura 9).

Este sistema integra as regiões de expansão sucroenergética nacional por meio de dutovias e hidrovias que atualmente se encontram parcialmente em funcionamento. O programa em sua consistência opera um trajeto de dutos que ligam a Refinaria de Paulínia (REPLAN), na cidade de Paulínia (SP), aos terminais da Petrobras localizados nas cidades de Ribeirão Preto (SP) e Uberaba (MG). A partir da REPLAN também se opera um sistema de dutos que segue para a refinaria de Ilhas d'Água, na cidade de Duque de Caxias (RJ), passando pelas cidades de Guararema (SP), Guarulhos (SP) e Barueri (SP) (Logum, 2020).

Neste complexo se encontra em planejamento o sistema de dutovias que estenderá uma conexão ao porto de Santos (SP) e, no interior, partirá de Uberaba (MG) integrando o sistema ao estado de Goiás, por meio das cidades de Itumbiara (GO), na região Sul, Quirinópolis (GO) e Jataí (GO), na região Sudoeste do estado, e o terminal de distribuição da Petrobras em Senador Canedo (GO) na região Metropolitana de Goiânia. Além destas dutovias se encontra planejado o aproveitamento logístico dos Rios Tietê e Paraná/Paranaíba por meio do sistema de hidrovias. Este sistema hidromodal prevê a integração ao sistema REPLAN, que passará por Araçatuba (SP), Presidente Epitácio (SP) e São Simão (GO), este último também no Sudoeste Goiano do qual contará com as conexões dutoviárias e hidroviárias (Logum 2014; Barros & Wanke 2012; Mitsutani 2010; Brasil 2008).

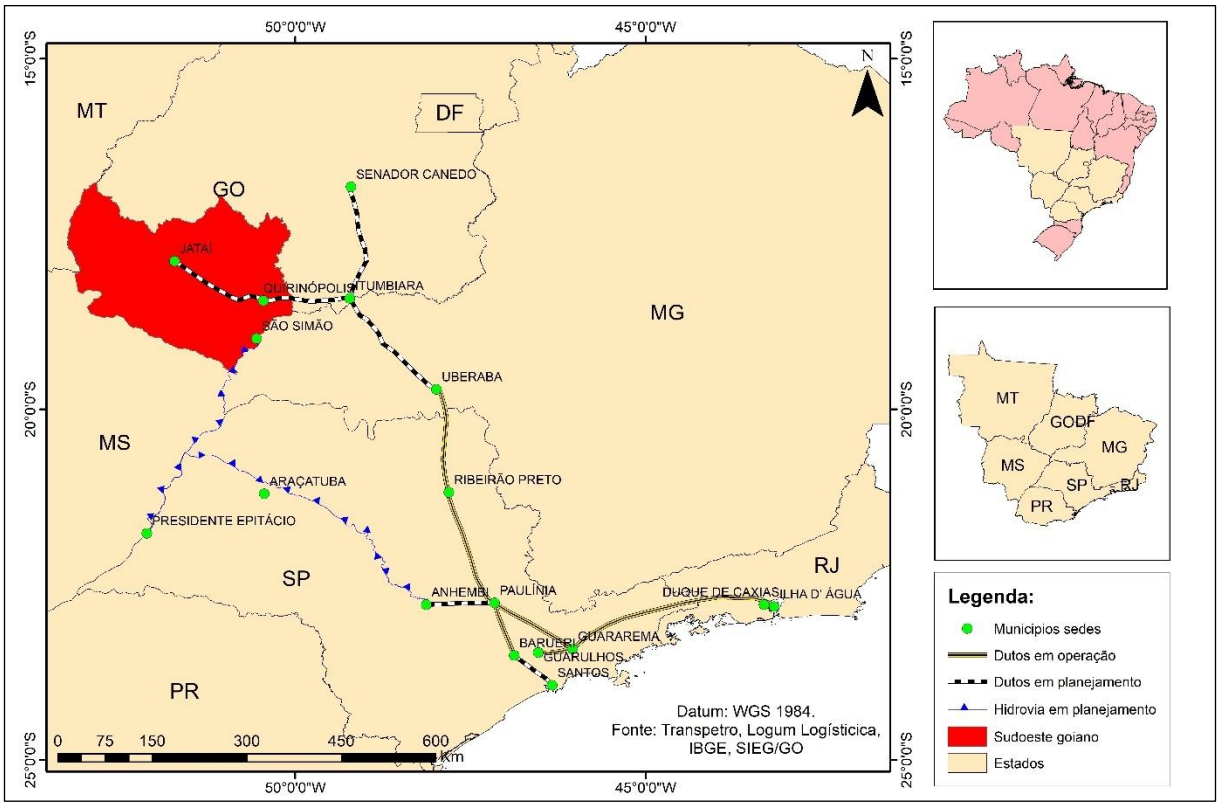

Figura 9. Sistemas logísticos do trajeto do etanolduto e das hidrovias no Sudoeste Goiano. Fonte: adaptado do Sistema Logístico do Etanol (2020). Org: o autor (2021).

Outro importante sistema logístico implementado no Sudoeste de Goiás, por meio das políticas públicas do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC), é a Ferrovia Norte-Sul e Ferrovia Ferro-Norte, que pode influenciar o escoamento sucroenergético interligando a área de estudo aos eixos produtivos paulistas (Figura 10).

As ferrovias que integram o sistema de distribuição da produção regional podem compor a logística do etanol trazendo importantes benefícios relacionados com a redução dos preços do produto final, aumento da competividade do álcool brasileiro (Coleti & Oliveira 2019). A estrutura que compõe as principais regiões produtivas do Sudoeste de Goiás por meio da Ferrovia Norte-Sul que irá contemplar os municípios de Tuverlândia, Santa Helena de Goiás, Rio Verde, Quirinópolis, Paranaiguara e São Simão durante o seu total funcionamento.

É interessante observar a integração logística com o modal hidroviário em São Simão (GO), podendo este se destacar entre os sistemas apresentados. Outro trecho de suma importância é a ferrovia Ferro-Norte que margeia a área de estudo pelo estado do Mato Grosso, tendo proximidade com as áreas de produção de cana-de-açúcar localizadas a Oeste do Sudoeste Goiano, principalmente, os municípios de Mineiros, Perolândia, Portelândia e Chapadão do Céu. Este trecho ferroviário promove a conexão com a cidade de Alto Taquari (MT), que sedia importantes centros de distribuição de combustíveis por meio da Petrobras, a Base Alto Taquari (BATAQ) e o Terminal de Distribuição Raizen Alto Taquari, empresa resultante da união da COSAN e da SHELL.

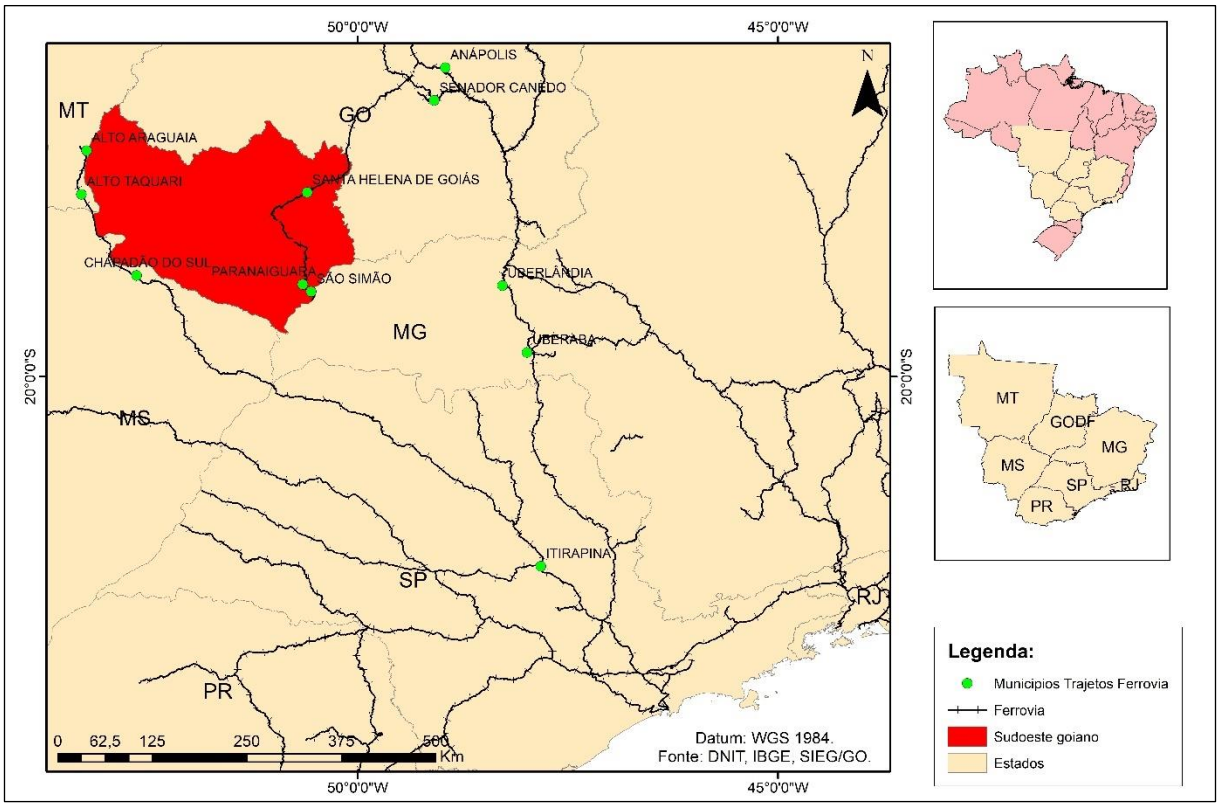

Figura 10. Sistemas logísticos do trajeto das ferrovias de influência no Sudoeste Goiano. Fonte: adaptado do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018). Org: o autor (2021).

O avanço da implementação dos modais logísticos ocorre na medida em que a produção sucroenergética estabelece um grande volume por quilômetro transportado (Mitsutani 2008). A completa operacionalização dos sistemas divulgados, no Sudoeste Goiano, depende de uma elevada produtividade que é impossibilitada momentaneamente. Assim, o modal de transporte com melhor nível de maturidade a ser imediatamente utilizado pelo setor em Goiás é o ferroviário, que representa um sistema de escoamento de maior viabilidade de investimentos na produção em terras com menores aptidões agrícolas.

Células de Produção Sucroenergética dentro dos Sistemas Pedologísticos

A produção de combustíveis renováveis, a partir da cana-de-açúcar, formou uma rede de usinas nos municípios da área de estudo que se estruturaram a partir da relação pedológica e logística, diretamente relacionados com os fatores tecnológicos de produção e ao meio natural. Os arranjos locacionais das unidades processadoras sucroenergéticas são definidos como as composições pedologísticas, que consideram as condições naturais e a infraestrutura construída destes municípios e tem influência na produção integrada, tendo a tecnologia agrícola de produção ampliada pelos modais de transporte completando o arranjo locacional da produção agroenergética (figura 11).

A figura anterior analisa as áreas de concentração de usinas de cana-de-açúcar por município no Sudoeste Goiano de 1985 a 2019, a partir da Interpolação de Pontos pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW) que são distribuídas a partir do fator locacional estabelecido pelos critérios de aptidão agrícola e de escoamento logístico, consolidando a relação temporal distribuída a partir destes dois fatores. Nessa, foi possível observar a progressão a partir de duas áreas *core* ou nucleares, aqui definidas como células de produção de etanol - Leste e Oeste - que foram influenciadas pela qualidade do aproveitamento agrícola dos solos e pela logística constituída.

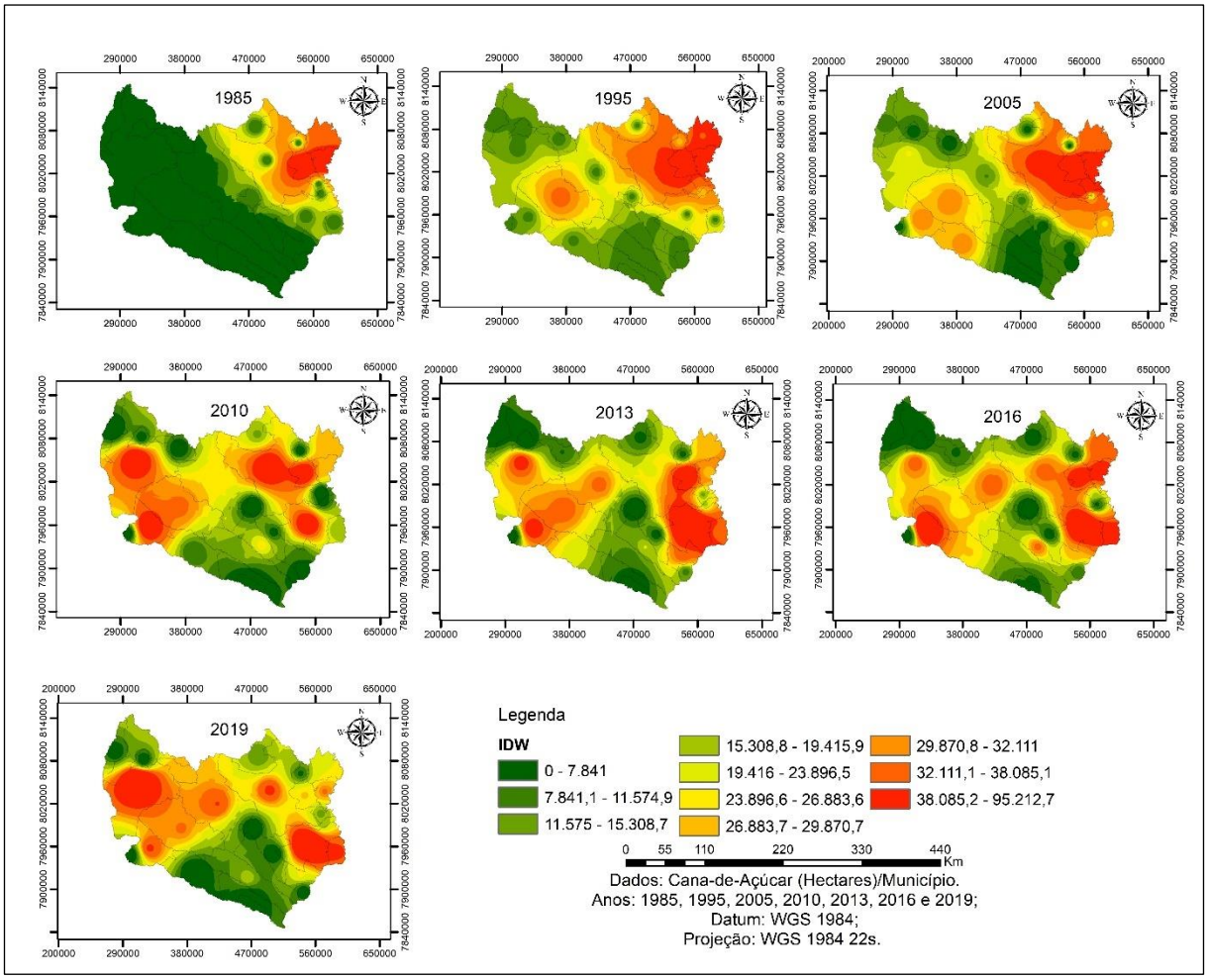

Figura 11. Formação das células produtivas das unidades processadoras de açúcar no Sudoeste Goiano. Fonte: o autor (2021).

É possível observar que a área *core* da cana na região durante o ano de 1985 foi o município de Santa Helena de Goiás e Tuverlândia e suas adjacências. No período analisado seguidamente, observou-se que em 1995 essa concentração ainda se manteve nesta região, ramificando-se para Rio Verde e Acreúna. Observa-se um ligeiro surgimento de uma célula de produção em Serranópolis na parte mais a Oeste da região. Estes dados mostram que os primeiros índices de concentração das usinas na região se basearam nos fatores condicionados à aptidão agrícola, sendo que a parte mais a Leste apresenta os melhores solos para o cultivo da cana-de-açúcar.

A partir de 2005, período relacionado com a última expansão da cana-de-açúcar relacionada ao Plano Nacional de Agroenergia (PNA), foi possível observar a ampliação da Célula Leste que ocorreu a partir do aumento da produção na área *core*. Neste mesmo período foi possível observar o início da divisão da Célula Oeste com o seu respectivo fortalecimento, chegando a Serranópolis, Chapadão do Céu e Aporé. Ainda, neste período, se encontra o predomínio da produção envolvida com a aptidão das terras, em que possivelmente o setor canavieiro se estabeleceu sobre as áreas de melhores níveis de manejos, mas com início da influência logística regional, processo influenciado pelo anúncio do etanolduto e, também, pela ferrovia Norte/Sul.

No período relacionado com o ano de 2010 ocorreu a ampliação da Célula Leste diante da inserção da região de Quirinópolis. Juntamente com esta nova dinâmica, incidiu-se a consolidação da Célula Oeste por meio do aumento de produção nos municípios de Chapadão do Céu, Mineiros e Serranópolis. Neste período ficou evidente a consolidação de dois eixos produtivos nucleares a partir das Células Leste e Oeste, e essa

consolidação ocorreu possivelmente pela influência dos fatores edáficos agregados pela implementação do traçado ferroviário, compondo a influência logística nesta nova dinâmica espacial da cana-de-açúcar.

No período de 2013, a espacialização do cultivo da cana-de-açúcar teve alterações nos núcleos de produção em que a Célula Leste se estabeleceu uma nova área *core* representada por Quirinópolis, diminuída a concentração em Santa Helena de Goiás. Por outro lado, a Célula Oeste passou por intenso aumento da sua influência inserindo neste cenário o município de Jataí. Estas mudanças podem ser interpretadas diante dos importantes traçados ferroviários e a conexão dutoviária com o seu traçado planejado no município de Jataí a Senador Canedo, além do modal hidroviário que partiria de São Simão, ambos em planejamento.

Em 2016, a Célula Leste se manteve entre os municípios de Santa Helena de Goiás, Turvelândia, Rio Verde, Quirinópolis, expandindo a produção para Gouvelândia e Acreúna. No eixo Oeste se manteve Chapadão do Céu, Mineiros, Serranópolis e Jataí, com início de uma terceira célula produtiva localizada ao Sul da região, especificamente no município de Caçú. Esta distribuição pode ser explicada pela efetivação da Ferrovia Norte-Sul em Goiás e a conexão da Ferro-Norte, que integra São Paulo a Mato Grosso, via o centro de distribuição Alto Taquari (MT) que margeia a Célula Oeste de produção de etanol, sob influência do Sistema Logum, visto que os dutos e a hidrovia não avançaram adiante do município de Uberaba (MG). Além da importância das ferrovias na influência da distribuição da produção sucroalcooleira, é possível observar que a cana-de-açúcar na Célula Oeste se expande para áreas melhores em aptidão agrícola em Portelândia e Perolândia.

Por último, em 2019, a Célula Leste tem a sua área nuclear agora em Quirinópolis e Gouvelândia, diminuindo a importância produtiva nas demais áreas, exceto em Rio Verde. Este redesenho produtivo pode ser explicado diante da sucessão de impactos econômicos que permearam em um cenário de crises no município de Santa Helena de Goiás e adjacências. Ampliou-se e consolidou-se a Célula Oeste, formando-se um corredor de produção entre Chapadão do Céu, Serranópolis e Jataí, surgindo um corredor que integra as Células Leste e Oeste, interligado pelos municípios de Jataí e Rio Verde. A influência destas áreas, sob o viés logístico e edáfico, que agrega as variáveis pedológicas, com os melhores solos, as regiões atendidas pelas ferrovias e o trajeto do futuro álcoolduto dentro da perspectiva da sua conexão com o Sudoeste Goiano.

Conclusões

O avanço do complexo agroindustrial do etanol no Sudoeste Goiano apresentou intenso crescimento em sua última fase de expansão, influenciado primeiramente pela aptidão agrícola do uso das terras e, posteriormente, pelas condições da criação dos instrumentos logísticos. Este avanço ocorreu por meio do aumento do número de usinas de produção de etanol, chegando a 16 (dezesseis) usinas em operação, e a ~590.000,00 hectares plantados no último período analisado, distribuídos em 26 (vinte e seis) municípios, durante o período estudado.

A composição pedologística da cana-de-açúcar se configurou em uma nova etapa da modernização da agricultura regional. Essa composição emprega, inicialmente, as condições pedológicas naturais, como principal fator de produção, seguidamente faz-se uso do aparelhamento tecnológico de escoamento de produção focada no transporte de baixo custo. Os solos de elevada aptidão agrícola oferecem a atratividade necessária para a instalação dos projetos sucroalcooleiros complementada pela infraestrutura logística, que estabelece nos solos de menor aptidão a viabilidade de grandes investimentos agroindustriais.

A aptidão do uso das terras no Sudoeste Goiano mostrou que a produção canavieira avançou, em um primeiro momento, sobre as terras de maior aptidão para lavouras mecanizadas localizadas à Leste da região, seguindo para áreas de terras menos aptas, com restrições à mecanização e com uso indicado para pastagens, silvicultura e até para preservação. Isso mostrou que a produção canavieira buscou as áreas de maior potencial

produtivo e de agricultura já consolidada por outros complexos agroindustriais que são regiões mais valorizadas, avançando para áreas de terras mais baratas.

O complexo logístico estruturado para o transporte do etanol no Sudoeste Goiano é composto oficialmente pelo plano do sistema logístico do etanol que liga a região aos mercados consumidores e exportadores por meio de dutovias e hidrovias. Porém, regionalmente, as ferrovias ganharam maior destaque sobre o sistema modal exclusivo do etanol em função de sua finalização e capacidade de atender aos demais complexos agroindustriais do Centro-Oeste do Brasil. Assim, as ferrovias complementam o pacote tecnológico da agricultura regional, incluindo a cana-de-açúcar, sendo um mecanismo difusor regional desta expansão canavieira, viabilizando a produção de combustíveis renováveis nas áreas com o preço da terra mais baixo.

O processo do avanço do setor sucroenergético no Sudoeste Goiano estabeleceu um processo que se difere da utilização de aplicações agronômicas ligadas com a ampliação da produção. O avanço da implementação dos modais logísticos ocorreu na medida em que a produção sucroenergética estabeleceu maior volume por quilômetro transportado que promoveu alterações nas áreas de produção com novos eixos da expansão da cana-de-açúcar, nos quais permaneceram as concentrações produtivas nas áreas de melhores recursos pedológicos e viabilizaram os investimentos em terras com aptidões agrícolas mais baixas para mecanização por meio da abertura de novas células de produção de biocombustíveis no Cerrado.

Referências

Abramovay, R. 2019. Amazônia: por uma economia do conhecimento da natureza. 1° ed. São Paulo: Elefante, 108 p.

Barbalho, M. G. S.; Silva, A. A.; Castro, S. S. A expansão da área de cultivo da cana-de-açúcar na região sul do estado de Goiás de 2001 a 2011. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, Rio de Janeiro, n. 29, p. 98-110, set. 2013.

Barros, C.C.C. Wanke, P.F. 2012. Logística de Distribuição de Etanol: uma proposta de avaliação para a viabilidade na construção de alcooldutos a partir do Centro-Oeste do Brasil. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, Lavras, v. 14, n. 3, p. 343-355.

Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. 2014. *Conservação do Solo.* 10. ed. Bom Retiro: Ícone

Bittencourt, M.G; Gomes, M.F.M. 2014. Fontes de Crescimento da Produção de Cana-de-Açúcar no Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. *REDES - Rev. Des. Regional, Santa Cruz do Sul,* v. 19, nº 2, p. 182 - 201, maio/ago.

Borlaug, N.E. 1983. Contributions of Conventional Plant Breeding to Food Production. *Science,* 219(4585):689·93.

Brasil - Empresa Brasileira de Pesquisa Energética. 2008. *Perspectivas para o Etanol Brasileiro.* Rio de Janeiro, 62 p. Relatório.

Castillo, R. A. 2015. *Dinâmicas recentes do setor sucroenergético no Brasil:* competitividade regional e expansão para o bioma Cerrado. *GEOgraphia (UFF),* v. 17, p. 95-119.

Chieppe Jr, J.B.C. 2015. Impacto do crescimento do setor sucroalcooleiro na expansão da fronteira agrícola no estado de Goiás. *Scientia Tec: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS,* Porto Alegre, v.2 n.3, p. 19-34, jul/dez.

Coleti, J.C; Oliveira, A.L.D. 2019. *A Intermodalidade no Transporte de Etanol Brasileiro:* aplicação de um modelo de equilíbrio parcial. RESR, Piracicaba-SP, Vol. 57, Nº 01, p. 127-144, Jan./Mar.

Cunha. G.R *et. al.* 2010. Intensificação Versus Extensificação da Agricultura. Revista Plantio Direto - Passo Fundo, p. 22 - 27, nov.

Duarte, M.L; Silva, T.A. 2019. Avaliação do Desempenho de Três Algoritmos na Classificação de Uso do Solo a Partir de Geotecnologias Gratuitas. *Revista de Estudos Ambientais.* Blumenau, v.21, n. 1, p.6-16.

Gomes, P. R.; Fernandes, V. 2014. O discurso de sustentabilidade e a rede de atores do setor sucroenergético. *Revista Brasileira De Ciências Ambientais,* (31), 84–96.

Lima M.S.B. 2020. Expansão da Cadeia da Soja na Amazônia Setentrional: os casos de Roraima e Amapá. *Boletim de Geografia de Maringá,* v. 38, n. 2, p. 79-93.

Logum. 2014. Estudo de Impacto Ambiental do Projeto Logum: trecho Paulínia-RMSP-Santos. Rio de Janeiro. 268 p. Relatório.

Logum. 2020. *Sistema Logístico do Etanol.* Disponível em: http://www.logum.com.br/php/o-sistema-logum.php. Acesso em: 26 abr.

Manzatto, C.V *et al.* 2009. Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar. Expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, in *Série Documentos* N 110, ISSN 1517-2627. set.

Mitsutani, C. 2010. *A Logística do Etanol de Cana-de-Açúcar no Brasil: condicionantes e perspectivas.* 2010, 103 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo.

Pimentel, L.M. *et al*..2011. Mudanças de Uso da Terra e Expansão da Agricultura no Oeste da Bahia. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.* Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 27

Pietrafesa, J. P.; Steckelberg, T. B.; Pietrafesa, P. A. Internacionalização do setor sucroenergético brasileiro e suas consequência em Goiás. *Campo - Território*, v.11, n.01, p. 371-392, 2016.

Ramalho Filho, A.; Beek, K. J. 1995. *Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.* 3. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 65 p.

Rudorff, B F T.; Sugawara, L. M. 2007. Mapeamento da cana-de-açúcar na Região Centro-Sul via imagens de satélite. *Informe Agropecuário,* Belo Horizonte, v. 28, p. 79-86.

Trindade, S.P. 2015. *Aptidão Agrícola, Mudanças de Usos dos Solos, Conflitos e Impactos Diretos e Indiretos da Expansão da Cana-de-Açúcar na Região Sudoeste Goiano.* 187 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Doutorado Interdisciplinar, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

Unica-União da Industria de Cana-de-Açúcar. Produção de cana-de-açúcar do Brasil das safras 1990/91 a 2006/07. Disponível em: http://www.portalunica.com.br. Acessado em 08 de fevereiro de 2025