LEVANTAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA E FERTIRRIGADA NO BRASIL

Segunda Edição
Revisada e ampliada

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

República Federativa do Brasil
Jair Bolsonaro
Presidente da República

Ministério do Desenvolvimento Regional
Gustavo Henrique Rigodanzo Canuto
Ministro

Agência Nacional de Águas

Diretoria Colegiada
Christianne Dias Ferreira (Diretora-Presidente)
Ney Maranhão (até 16 de julho de 2019)
Ricardo Medeiros de Andrade
Oscar Cordeiro Netto
Marcelo Cruz

Secretaria Geral (SGE)
Rogério de Abreu Menescal

Procuradoria Federal (PF/ANA)
Emiliano Ribeiro de Souza

Corregedoria (COR)
Maurício Abijaodi Lopes de Vasconcellos

Auditoria Interna (AUD)
Eliomar Ayres da Fonseca Rios

Chefia de Gabinete (GAB)
Thiago Serrat

Gerência Geral de Estratégia (GGES)
Nazareno Marques de Araújo

Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR)
Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica (SGH)
Marcelo Jorge Medeiros

Superintendência de Operações e Eventos Críticos (SOE)
Joaquim Guedes Correa Gondim Filho

Superintendência de Implementação de Programas e Projetos (SIP)
Tibério Magalhães Pinheiro

Superintendência de Apoio ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SAS)
Humberto Cardoso Gonçalves

Superintendência de Tecnologia da Informação (STI)
Sérgio Augusto Barbosa

Superintendência de Regulação (SRE)
Rodrigo Flecha Ferreira Alves

Superintendência de Fiscalização (SFI)
Alan Vaz Lopes

Superintendência de Administração, Finanças e Gestão de Pessoas (SAF)
Luís André Muniz

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

LEVANTAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA E FERTIRRIGADA NO BRASIL

SEGUNDA EDIÇÃO
REVISADA E AMPLIADA

BRASÍLIA - DF
ANA
2019

© 2019, Agência Nacional de Águas – ANA.

Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M, N, O e T.
CEP: 70610-200, Brasília – DF.
PABX: (61) 2109-5400 | (61) 2109-5252
Endereço eletrônico: www.ana.gov.br

COMITÊ DE EDITORAÇÃO

Diretor
Ricardo Medeiros de Andrade

Superintendentes
Humberto Cardoso Gonçalves
Joaquim Guedes Correa Gondim Filho
Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

Secretário Executivo
Rogério de Abreu Menescal

As ilustrações, tabelas e gráficos sem indicação de fonte foram elaborados pela ANA.
Informações, críticas, sugestões, correções de dados: cedoc@ana.gov.br
Disponível também em: http://www.ana.gov.br

Todos os direitos reservados
É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

EQUIPE EDITORIAL

Supervisão editorial
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff
Daniel Alves de Aguiar
Thiago Henriques Fontenelle

Revisão dos originais
Daniel Assumpção Costa Ferreira
Carlos Alberto Perdigão Pessoa
Marcus André Fuckner

Projeto Gráfico, Diagramação e Capa
Letícia Gabriella Furlan Gimenez Rey
Agência Nacional de Águas

Fotografias
Banco de Imagens ANA
Agrosatélite Geotecnologia Aplicada Ltda.

Produção e Elaboração dos Originais
Agrosatélite Geotecnologia Aplicada Ltda.

Catalogação na fonte - CEDOC/Biblioteca

A265l	Agência Nacional de Águas (Brasil). Levantamento da cana-de-açúcar irrigada e fertirrigada no Brasil / Agência Nacional de Águas. - 2ª. ed. - Brasília: ANA, 2019. 53 p.: il. ISBN: 978-85-8210-063-9 1. Irrigação Agrícola 2. Cana-de-açúcar. I. Título **CDU 633.61+631.67 (81)**

Elaborada por Fernanda Medeiros - CRB-1/1864

Agência Nacional de Águas
Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos

Coordenação Geral
Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

Coordenação Executiva
Daniel Assumpção Costa Ferreira
Thiago Henriques Fontenelle

Colaboradores
Alexandre Lima de Figueiredo Teixeira
Gonzalo Álvaro Vázquez Fernandez
Marco Vinícius Castro Gonçalves
Marcus André Fuckner
Wagner Martins da Cunha Vilella

Agrosatélite Geotecnologia Aplicada Ltda.

Coordenação Geral
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff

Coordenação Executiva
Daniel Alves de Aguiar

Equipe Técnica
Cristian Damaceno Back
Joel Risso
Lívia Corrêa Crispim
Marciano Saraiva
Marco Aurélio Virtuoso
Moisés Pereira Galvão Salgado
Rafael Betta

Equipe de Apoio
Ana Cristina Theisges
Daniela Prá Silva de Sousa
Débora Ferreira
Gabriel Hertz Cabral
Isabela Coutinho
Karine Domingos
Lucas Kreutzfeld
Marlon de Oliveira Martins
Rodrigo Bianchini Pereira
Tania Beatriz Hoffmann
Vitória Novello Bernardino
Yuri Lima Perroto

Consultores
Arlington Ricardo Ribeiro de Oliveira
Camila Tavares Homann

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área cultivada e produção de cana-de-açúcar em 2018, por estado e região 12

Figura 2. Evolução da área cultivada de cana-de-açúcar, por estado, região e total 13

Figura 3. Deficiência Hídrica média para cana - média histórica (1997 a 2012) e período recente (2014 a 2018) 14

Figura 4. Fluxo da água no processo agroindustrial de produção de açúcar e etanol 18

Figura 5. Mapa da área cultivada com cana-de-açúcar na safra 2018/19 no Brasil, produção e produtos derivados 22

Figura 6. Área de cana-de-açúcar cultivada por classe de deficiência hídrica média (2014-2018) 24

Figura 7. Esquema metodológico de classificação das áreas irrigadas e fertirrigadas 28

Figura 8. Área de cana irrigada por estado, região e tipologia de irrigação 37

Figura 9. Áreas de cana irrigada por município e tipologia de irrigação 38

Figura 10. Área de cana irrigada em pivôs centrais, por região e estado 39

Figura 11. Áreas fertirrigadas por município em regiões de menor deficiência hídrica e localização das usinas 41

Figura 12. Área de cana irrigada e fertirrigada, por estado e região, e percentuais em relação ao total de cana cultivada 42

Figura 13. Área de cana irrigada e fertirrigada e volume de água médio anual, por tipologia 43

Figura 14. Síntese dos resultados - área de cana irrigada e fertirrigada no Brasil 44

Figura 15. Necessidade de irrigação média anual para cana 46

Figura 16. Área de cana irrigada e fertirrigada e uso da água no Brasil 47

LISTA DE FIGURAS

Cultivo de cana no município de Paranapanema (SP)
Bernardo Rudorff / Banco de imagens ANA

SUMÁRIO

Cultivo de cana no município de Paranapanema (SP)
Daniel Aguiar / Banco de imagens ANA

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 9

1 CONTEXTO E OBJETIVOS 11

2 IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO EM CANA-DE-AÇÚCAR 17

3 METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO 21

4 ÁREAS IRRIGADAS E FERTIRRIGADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR 35

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 51

APRESENTAÇÃO

Usina Coruripe no município de Coruripe (AL)
Daniel Aguiar / Banco de imagens ANA

A Agência Nacional de Águas – ANA é responsável pela produção e atualização de informações sobre o balanço hídrico nacional, ou seja, sobre a relação entre a disponibilidade e a demanda de água para os usos dos diferentes setores usuários. Em termos quantitativos, a irrigação é o maior e mais dinâmico setor usuário de recursos hídricos, sendo responsável por cerca de 50% do volume de água captado em mananciais no Brasil, o que supera a média de um milhão de litros a cada segundo. Com a expressividade hídrica e econômica da agricultura irrigada, importantes lacunas de conhecimento vêm sendo identificadas e preenchidas por meio de estudos e parcerias da ANA, visando a construção de uma base técnica adequada às tomadas de decisão.

Neste contexto, a cana-de-açúcar se apresenta como uma cultura de grande relevância em termos de área equipada para irrigação e fertirrigação no País. Ao mesmo tempo, apresenta peculiaridades no manejo da irrigação que a diferem das demais culturas irrigadas, a exemplo do reuso agronômico das águas residuárias advindas dos processos industriais da produção de etanol e açúcar.

Diante do desafio de levantar a área de cana-de-açúcar irrigada, a ANA lançou em 2017 o Levantamento da Cana-de-Açúcar Irrigada no Centro-Sul do Brasil. Nesta segunda edição revisada e ampliada, que contou com novos avanços metodológicos e tecnológicos, a ANA incorporou de forma mais explícita a análise da fertirrigação, ampliou o escopo territorial para as demais regiões e procurou aprimorar a interlocução com o setor sucroenergético. Assim, apresentamos o Levantamento da Cana-de-Açúcar Irrigada e Fertirrigada no Brasil como parte dos esforços de produção e de disseminação de informações sobre irrigação e fertirrigação, com vistas à maior qualificação das tomadas de decisão, especialmente no que diz respeito à segurança hídrica da agricultura e dos demais usos compartilhados da água. O estudo é também parte da atualização do Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada (http://atlasirrigacao.ana.gov.br), cuja segunda edição será lançada em 2020.

1 CONTEXTO E OBJETIVOS

Pivô central no município de Igarassu (PE)
Daniel Aguiar / Banco de imagens ANA

A cana-de-açúcar é uma das maiores fontes de riqueza agrícola do País com impacto relevante na economia, na sociedade e no uso de recursos naturais. Condições climáticas favoráveis em grande parte do território e boa disponibilidade de terras com solos aptos para o cultivo são os principais fatores que colocam o Brasil na liderança mundial da produção de cana.

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) estimou para a safra 2018/19 uma produção de 620,4 milhões de toneladas de cana, utilizada para produzir 29,0 milhões de toneladas de açúcar e 33,1 bilhões de litros de etanol[1]. Além disso, a bioeletricidade gerada a partir da biomassa da cana-de-açúcar foi de 21,5 TWh em 2018, sendo a quarta fonte mais importante da matriz elétrica brasileira e contribuindo significativamente para que a participação de fontes renováveis na energia total produzida no país seja a maior do mundo (43,5%). A geração pela biomassa exerce papel fundamental na proposta brasileira de redução das emissões de gases do efeito estufa apresentada na COP 21, na qual assumiu a meta de consumir 50 bilhões de litros de etanol em 2030[2].

O mapeamento do cultivo da cana-de-açúcar, realizado por meio de imagens de satélite, totalizou uma área de cerca de 11,2 milhões de hectares na safra 2018/19[3], distribuída em duas grandes regiões do país: a Centro-Sul – composta pelos estados do Sudeste, Centro-Oeste e Sul – e a Norte-Nordeste. Os produtores do Centro-Sul – São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná, Mato Grosso, Espírito Santo e Rio de Janeiro – abrangem 89,2% da área cultivada nacional, respondendo por 92,4% da produção (Figura 1); e os produtores do Norte-Nordeste – Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Bahia, Sergipe, Rio Grande do Norte, Maranhão, Tocantins e Piauí – abrangem 10,8% da área cultivada, respondendo por 7,6% da produção (Figura 1).

[1] CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana-de-Açúcar. V. 5 - Safra 2018/19 N. 4. Abril, 2019.

[2] Balanço Energético Nacional 2018: Ano base 2017. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2018. 292 p.

[3] Agrosatélite, 2019. Projeto Canasat safra 2018/19. Mapeamento por imagens de satélites de sensoriamento remoto da cana-de-açúcar no Brasil. Agrosatélite Geotecnologia Aplicada Ltda. Florianópolis, 2019.

Em decorrência de uma perspectiva bastante promissora para o setor sucroenergético, a partir do início da década de 2000, foram realizados diversos investimentos para aumentar significativamente a produção de cana, principalmente para produzir etanol, com a chegada ao mercado dos veículos bicombustíveis e com a possibilidade do Brasil se tornar um grande exportador de etanol para países europeus - o que acabou não se efetivando. Estes investimentos foram mais expressivos nos estados do Centro-Sul fazendo com que a área cultivada de cana mais do que duplicasse em duas décadas, embora tenha permanecido relativamente estável ao longo dos últimos 6 anos (2013 a 2018) conforme ilustrado na Figura 2.

Contudo, o aumento observado na área cultivada não foi acompanhado por um aumento proporcional na produção de cana-de-açúcar devido à redução na produtividade. Diversas são as causas relacionadas com a perda de produtividade

	ÁREA CULTIVADA (mil ha)	ÁREA CULTIVADA (%)	QUANTIDADE PRODUZIDA (mil ton)	QUANTIDADE PRODUZIDA (%)
BRASIL	11.225.216	100%	620.435	100%
SÃO PAULO	5.926.239	52,7%	332.881	53,6%
GOIÁS	1.152.170	10%	70.001	11,2%
MINAS GERAIS	1.036.483	9%	63.200	10%
MATO GROSSO DO SUL	855.669	7,6%	49.505	8%
PARANÁ	686.136	6%	35.495	5,7%
MATO GROSSO	241.868	2%	17.349	2,8%
RIO DE JANEIRO	41.565	0,3%	1.058	0,1%
ESPÍRITO SANTO	60.817	0,5%	3.174	0,5%
ALAGOAS	407.802	3,6%	16.202	2,6%
PERNAMBUCO	356.144	3,1%	11.425	1,8%
PARAÍBA	148.894	1,3%	5.589	0,9%
BAHIA	76.025	0,6%	3.743	0,6%
RIO GRANDE DO NORTE	61.475	0,5%	2.429	0,3%
SERGIPE	63.051	0,5%	1.896	0,3%
MARANHÃO	46.103	0,4%	1.964	0,3%
TOCATINS	34.135	0,3%	2.024	0,3%
PIAUÍ	20.449	0,1%	1.167	0,1%

CENTRO-SUL
10.000.947 mil ha
Área Cultivada
89,2%
572.701 mil ton
Quantidade Produzida
92,4%

NORTE-NORDESTE
1.214.078 mil ha
Área Cultivada
10,8%
47.734 mil ton
Quantidade Produzida
7,6%

Figura 1. Área cultivada e produção de cana-de-açúcar em 2018, por estado e região.

Fonte: CONAB (2019)[1] e Agrosatélite (2018)[3].

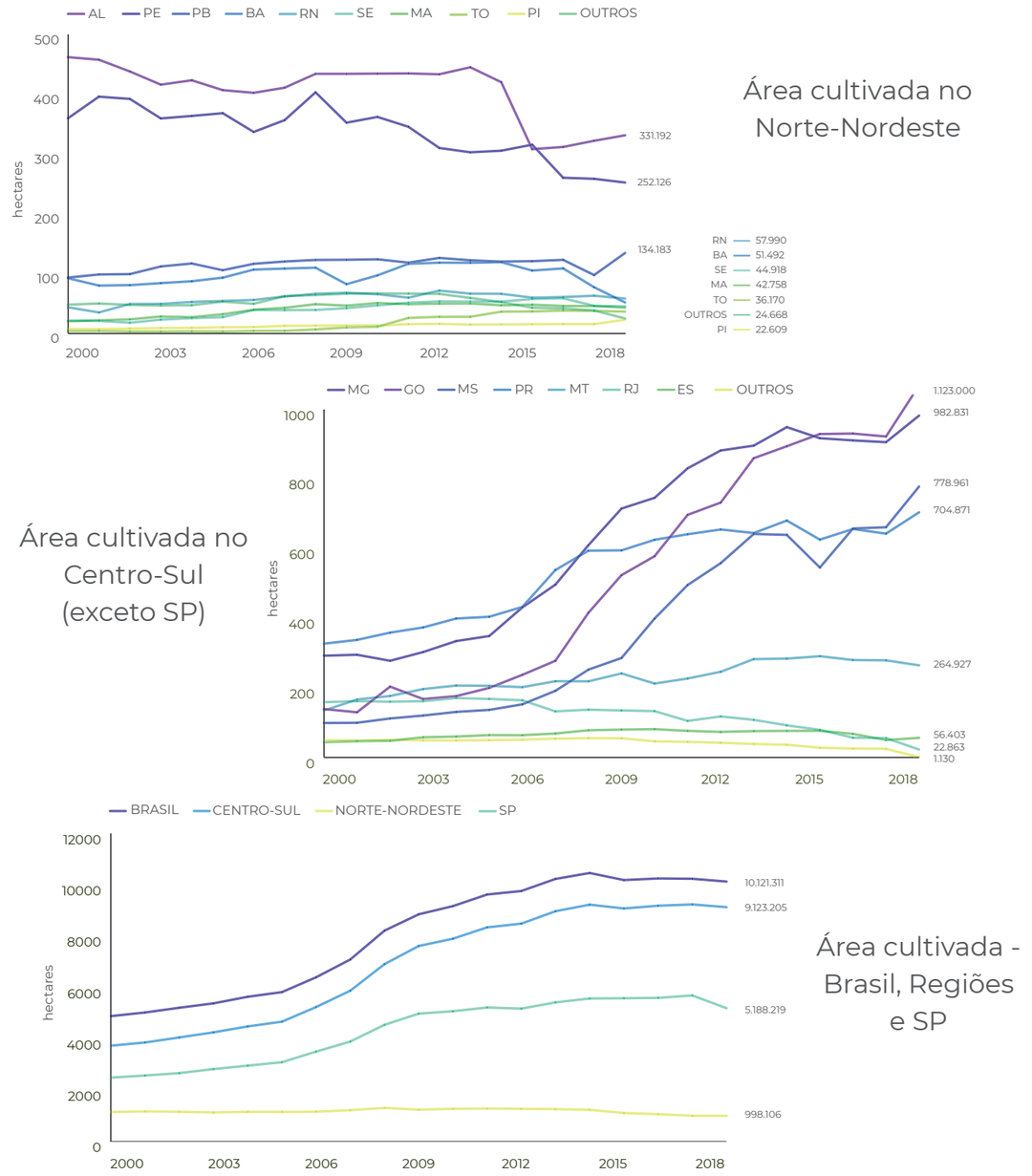


Figura 2. Evolução da área cultivada de cana-de-açúcar, por estado, região e total.

dos canaviais, com destaque para as sucessivas estiagens observadas nos últimos anos nas duas principais regiões produtoras de cana-de-açúcar no Brasil, conforme pode ser observado na Figura 3 que apresenta o mapa da deficiência hídrica da cana-de-açúcar em dois períodos: 1997 a 2012 e 2014 a 2018. Nota-se que a deficiência hídrica foi bem mais acentuada no período mais recente em relação à média histórica.

Somado às intempéries climáticas, as dificuldades impostas pelo mercado e a insuficiência de políticas públicas favoráveis agravaram a crise do setor sucroenergético iniciada em 2008 a qual vem se estendendo até o presente, mas o setor espera uma nova onda de crescimento com a implementação do programa Renovabio em 2020, que pretende elevar a produção anual de etanol dos atuais 33 bilhões de litros para 50 bilhões de litros em 2030.

Outro aspecto relacionado com a estagnação da produção foi o avanço da mecanização da colheita. Cortes mal realizados e arranque de soqueiras foram erros comuns cometidos no início da curva de aprendizado do corte mecanizado. A expansão da cana sobre pastagens em regiões de terras de menor custo e com condição edafoclimática menos favorável, quando comparada com as tradicionais regiões canavieiras, também contribuiu na redução da produtividade, sem deixar de mencionar o gradual envelhecimento dos canaviais associado à menor capacidade de investimentos.

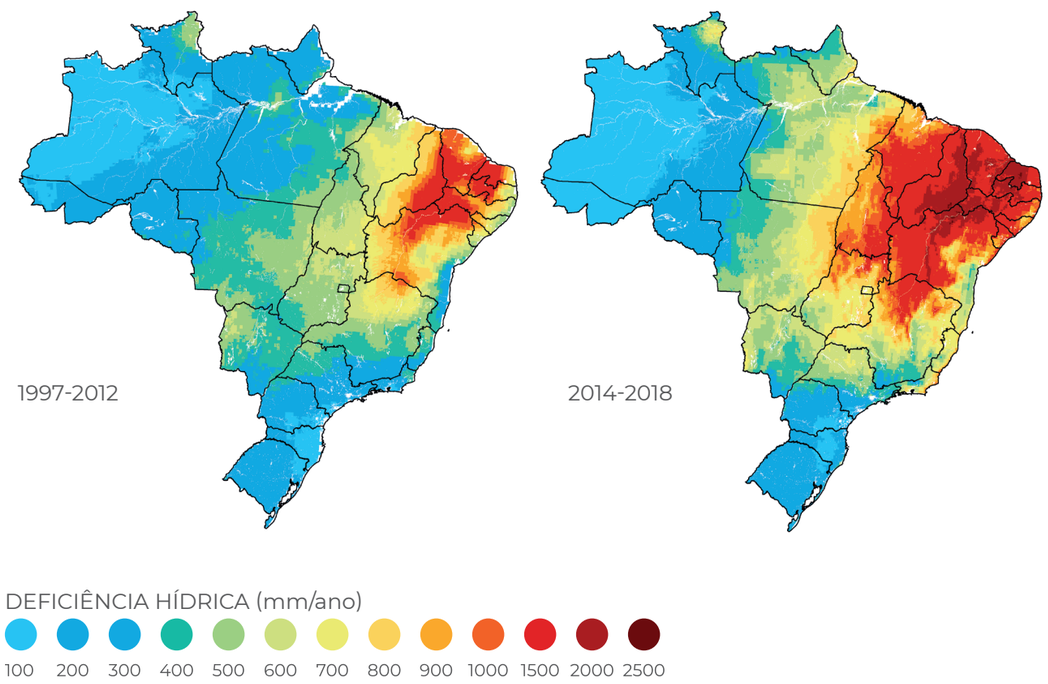


Figura 3. Deficiência Hídrica média para cana - média histórica (1997 a 2012) e período recente (2014 a 2018).

Nota: a deficiência hídrica não representa a necessidade de irrigação.

A cana apresenta elevada resiliência ao estresse hídrico, ou seja, a produtividade é reduzida com a deficiência hídrica, mas não inviabilizada economicamente. A prática da irrigação pode mitigar os impactos negativos decorrentes de estiagens prolongadas além de aumentar a longevidade do canavial, isto é, o tempo de reforma previsto para 5 ou 6 anos pode até dobrar. Contudo, é importante ressaltar que a correta aplicação de água precisa estar associada a uma sólida base tecnológica para que o canavial possa expressar plenamente o seu potencial produtivo e compensar o gasto adicional com a implantação e o manejo da irrigação.

A adoção da irrigação em escala mais ampla apresenta restrições de natureza econômica e ambiental. No entanto, todas as usinas do país dispõem de equipamentos de irrigação (carretéis enroladores, principalmente) para aplicação, nas lavouras de cana, da vinhaça e da água residuária advinda dos processos de produção de etanol e de açúcar, processo esse conhecido como fertirrigação. Em regiões de maior déficit hídrico, esse reuso do processo industrial é consorciado com água de mananciais, propiciando maiores aplicações de água. Em regiões de déficit ainda mais acentuado a produção só se viabiliza com irrigação mais abrangente, utilizada também em usinas que decidem fazer esse tipo de investimento visando ganhos na produção.

A disponibilidade de um método ágil e objetivo para obter informações detalhadas sobre a área irrigada de cana no Brasil, indicando as regiões mais críticas em termos de deficiência hídrica, propicia o avanço no conhecimento do uso da água e da atuação do sistema de gestão de recursos hídricos voltado para o setor sucroenergético. Este avanço é fundamental para a efetividade e a eficácia dos instrumentos de gestão, assim como para o desenvolvimento de políticas e programas para o setor, visando a segurança hídrica e a garantia dos usos múltiplos.

Neste sentido, o presente estudo tem por objetivo mapear as áreas de cana-de-açúcar irrigadas e fertirrigadas no Brasil por meio do uso de geotecnologias e informações primárias e secundárias obtidas em campo e junto a atores do setor sucroenergético. Com base nas áreas identificadas, são apresentadas estimativas do uso da água associado.

A natureza inovadora deste estudo demandou grande empenho de desenvolvimento metodológico e computacional. Persistem limitações para identificar com precisão a irrigação menos hidrointensiva e a fertirrigação, particularmente nas regiões de menor deficiência hídrica, mas as análises, realizadas com os mais avançados dados e métodos disponíveis, foram exploradas ao máximo, gerando um conhecimento que define o estado da arte do mapeamento de área irrigada e fertirrigada de cana-de-açúcar.

2 IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO EM CANA-DE-AÇÚCAR

Pivô central no município de São Miguel dos Campos (AL)
Daniel Aguiar / Banco de imagens ANA

Embora a cana seja uma cultura que apresente boa resistência ao estresse hídrico, seu crescimento e desenvolvimento é beneficiado largamente sob condições hídricas favoráveis com ganhos de produtividade, longevidade e qualidade; muito embora, no período que antecede a colheita o déficit hídrico é necessário para o amadurecimento da cana. Além disso, o procedimento de colheita e o transporte da cana para a unidade industrial é prejudicado e até mesmo interrompido com a ocorrência de chuvas.

Por outro lado, após a colheita a cana necessita de água para rebrota das soqueiras e, neste sentido, a irrigação e a fertirrigação desempenham um papel relevante no ciclo de produção da cana, não só em regiões onde a produção somente se viabiliza mediante a aplicação de lâminas de água mais significativas, que podem chegar a até 1.000 mm/ano, mas também em regiões onde se aplicam lâminas menores, que podem variar de 20 a 100 mm/ano sem deixar de mencionar áreas onde são aplicadas lâminas ainda menores, mas de pequeno impacto em termos de suprimento de água para a cultura. Dadas as diferentes formas de manejo do uso da água, tanto no processo agroindustrial quanto no agronômico, a água é aplicada artificialmente nos canaviais em volumes/lâminas bastante diferentes. Por outro lado, pode-se classificar o manejo da água em tipologias das quais é possível estabelecer médias ou padrões regionais desse uso.

Quando a irrigação é realizada em regiões de maior deficiência hídrica e com lâminas de água mais significativas o impacto no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar pode ser captado nas imagens de satélite. Já a fertirrigação com aplicação de vinhaça e água residuária em volumes reduzidos, em comparação com a demanda hídrica da cultura, apresenta baixo impacto no crescimento dificultando a identificação desta prática agrícola por meio de imagens de satélites. Por isso, esse estudo apresenta abordagens metodológicas diferenciadas para esses dois grandes grupos de uso da água (irrigação e fertirrigação), ambas, contudo, com o uso de geotecnologias.

No que se refere à fertirrigação realizada com vinhaça e água residuária, cabe destacar que no setor sucroenergético as atividades agrícolas e industriais atuam de forma integrada e dependente com forte interação

no que se refere à prática agrícola. Esta modalidade de irrigação realizada amplamente pelo setor sucroenergético tem como finalidades principais o aproveitamento racional do potencial fertilizante dos efluentes da indústria e o atendimento aos normativos e às práticas setoriais de sustentabilidade. A fertirrigação é realizada seguindo critérios técnicos de nutrição canavieira e normas ambientais específicas que regulamentam a sua adoção. Essa prática normalmente se dá mediante a aplicação de pequenas lâminas para redução do estresse hídrico e melhoria das condições de crescimento e desenvolvimento da cana, notadamente após o corte. Entretanto, esse efeito é de difícil identificação nas imagens de satélite analisadas, motivo pelo qual foi adotada metodologia específica com base em geoprocessamento.

A Figura 4 ilustra o macrofluxo da água no processo agroindustrial de produção de açúcar e etanol no Brasil. Os valores de referência[4] buscam retratar padrões encontrados na literatura e em consulta a especialistas, mas em unidades industriais específicas os números poderão desviar significamente em função das tecnologias empregadas, boas práticas de uso e reuso, proporção de produção de etanol e açúcar etc. Frente às normas ambientais, 100% do lançamento tende a ser reutilizado agronomicamente com valores de referência entre 800 e 1.100 litros por tonelada de cana processada. A meta de captação de água ("água azul") para valores da ordem de 1.000 litros/t cana no Centro-Sul vem sendo alcançada pelo setor - esses valores já foram da ordem de 15 a 20 mil litros/t cana há cerca de quatro décadas, decorrente dos circuitos de uso da água abertos[4]. Adicionalmente, 700 litros/t cana ("água verde") entram no fluxo agroindustrial provenientes da própria cana.

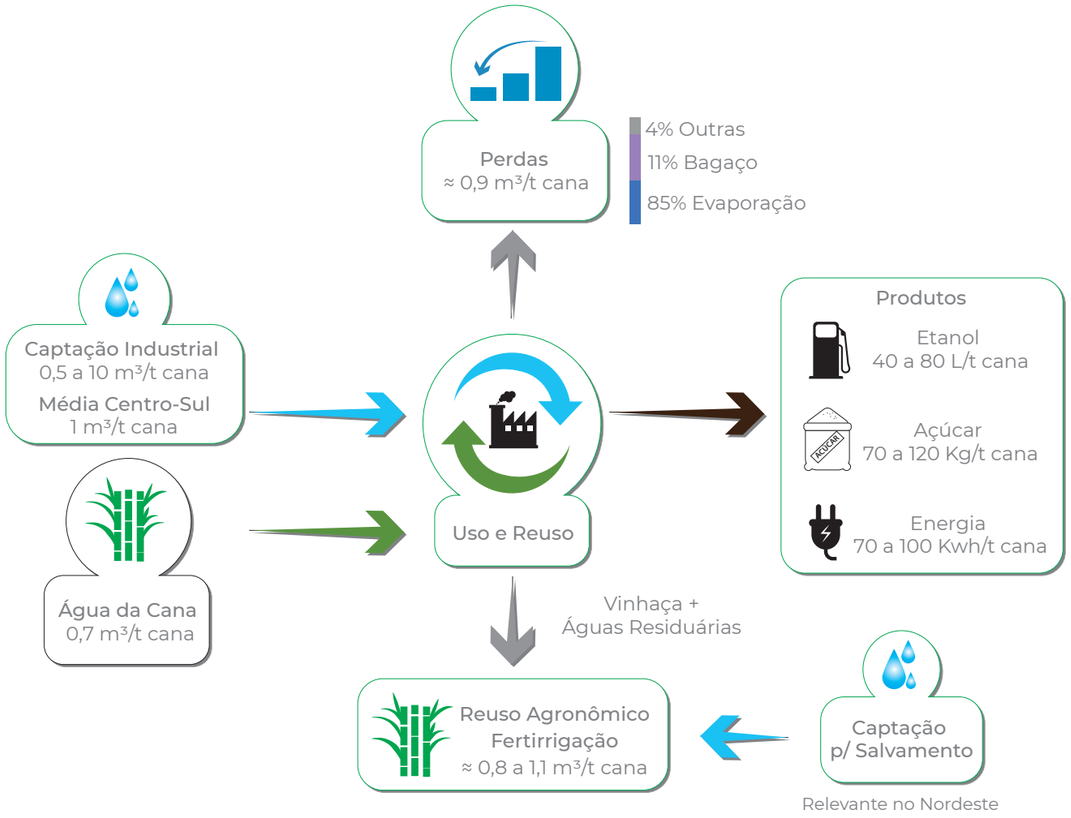


Figura 4. Fluxo da água no processo agroindustrial de produção de açúcar e etanol.

[4] Fonte: ANA, a partir de informações disponíveis no "Manual de conservação e reúso de água na indústria sucroenergética" (ANA, FIESP, UNICA & CTC, 2009) e páginas na internet da CONAB, UNICA e CTC.

Nota: valores de referência podem desviar significamente em unidades sucroenergéticas específicas, em função das tecnologias empregadas, boas práticas de uso e reuso, proporção de produção de etanol e açúcar etc.

Com relação à prática da irrigação propriamente dita nos canaviais, o presente estudo estabeleceu três grandes tipologias (ou subgrupos), em função da lâmina de água aplicada que pode ou não estar associada com efluentes da indústria: 1) a irrigação plena que visa suprir próximo a 100% da deficiência hídrica aplicando lâminas de água mais significativas (400 a 1.000 mm/ano); 2) a irrigação com déficit (ou semiplena) que visa suprir em torno de 50% da deficiência hídrica aplicando lâminas de água entre 200 e 400 mm/ano; e 3) a irrigação de salvamento que visa reduzir parcialmente o estresse hídrico no período seco com o intuito de garantir o plantio/rebrota de soqueiras, favorecendo o desenvolvimento das lavouras com a entrada das primeiras chuvas, aplicando lâminas que variam, em média, de 20 a 100 mm/ano.

Para um melhor entendimento sobre o impacto da adoção da irrigação com água de mananciais e da fertirrigação com vinhaça e água residuária sobre o uso consuntivo da água, é importante considerar que 86% dos canaviais estão em condições de deficiência hídrica climática de até 800 mm/ano. Nesses casos, a produção da cana-de-açúcar se viabiliza economicamente sem o uso de água para suprir o déficit hídrico. Por outro lado, essa região é responsável por quase 90% da cana destinada à produção de etanol e açúcar e, consequentemente, por uma grande quantidade de efluentes da indústria na forma de vinhaça e água residuária. Esse volume não pode ser lançado diretamente nos corpos d'água e tende a ser otimizado para o reuso agronômico (fertirrigação).

Já na região com deficiência hídrica acima de 800 mm/ano, onde estão 14% dos canaviais responsáveis por 10% da produção de cana, os efluentes industriais são, em geral, misturados ou consorciados à água retirada de mananciais com a finalidade de reduzir o déficit hídrico e também suprir total ou parcialmente a adubação mineral da cultura.

Em que pese a relevante participação da cana-de-açúcar na área irrigada total, cabe destacar que a água retirada para irrigação é comparativamente inferior às demais culturas, principalmente por conta de dois aspectos mencionados anteriormente: aplicação de baixas lâminas de irrigação com a finalidade de salvamento e o amplo uso da fertirrigação para aproveitamento dos efluentes industriais: vinhaça e água residuária.

Dessa forma, e embora se verifique uma ampla variedade de manejos agroindustriais e agronômicos no uso da água em cana-de-açúcar, o presente estudo estabeleceu duas grandes tipologias de mapeamento - fertirrigação e irrigação, sendo esta subdividida em irrigação de salvamento, déficit (ou semiplena) e plena.

3 METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO

Cultivo de cana no município de Paranapanema (SP)
Bernardo Rudorff / Banco de imagens ANA

O desenvolvimento do Levantamento da Cana-de-Açúcar Irrigada e Fertirrigada no Brasil foi pautado, essencialmente, em três variáveis que estão relacionadas com o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar: 1) a deficiência hídrica; 2) a irrigação; e 3) o vigor do canavial. A primeira e a segunda exercem impacto direto sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura; enquanto a terceira é uma resposta do canavial à disponibilidade hídrica. A hipótese de que a prática da irrigação proporciona ao canavial melhor condição de crescimento, quando comparado aos canaviais sem irrigação, e que isto pode ser detectado por meio do vigor do canavial medido pelas imagens de satélites[5], justificou a realização deste estudo.

Neste sentido, foi fundamental o entendimento da relação entre a deficiência hídrica – acompanhada ou não da irrigação – e a resposta captada pelas imagens de satélite ao longo das fases de crescimento e desenvolvimento da cana. Uma vez que o método busca a diferenciação de resposta da cana, apresentada nas imagens de satélite, e que esteja relacionada às áreas irrigadas e não irrigadas, foi essencial a utilização do mapa com a distribuição geográfica dos canaviais.

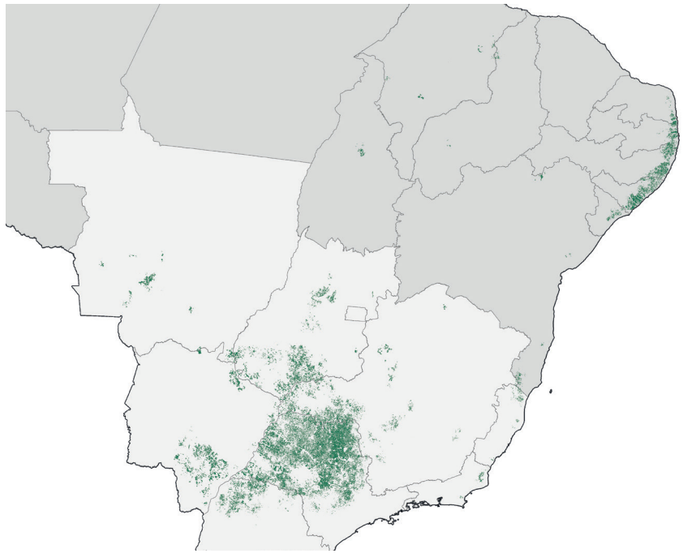
Durante os estudos, confirmou-se forte limitação da aplicação dos índices de vegetação e outras métricas obtidas por sensoriamento remoto para a identificação de áreas fertirrigadas. Como a resposta em termos de desenvolvimento vegetativo é muito incerta ou sutil frente às áreas irrigadas, a aplicação da mesma abordagem metodológica ocasionaria elevada subidentificação das áreas, além da elevada incerteza quanto às áreas classificadas quanto às outras variáveis intervenientes, como a ocorrência de solos mais favoráveis, de manejo diferenciado e de chuvas localizadas. Assim, para a fertirrigação, foi adotada modelagem com uso de geoprocessamento, contando com as contribuições do setor por meio de questionários e dos planos anuais de aplicação de vinhaça (PAVs).

[5] FERNANDEZ, G. A. V.; SCHERER-WARREN, M.; BIELENKI Jr, C. Taxas de uso em uma série histórica de pivôs centrais em uma bacia do Cerrado. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13-18 abril 2013, INPE, p. 320-331, 2013.

3.1 MAPEAMENTO DOS CANAVIAIS

O mapeamento da área cultivada com cana no Brasil vem sendo realizado anualmente pela Agrosatélite Geotecnologia Aplicada Ltda nos moldes do projeto Canasat[6] por meio de uma metodologia consistente de análise de imagens de satélites de sensoriamento remoto com resolução espacial de 20 a 30 metros.

O mapa da cana-de-açúcar referente à safra 2018/19 totaliza uma área de 11,2 milhões de hectares que define a abrangência do estudo para as análises relacionadas com a deficiência hídrica e para classificação da cana irrigada e não irrigada. A Figura 5 apresenta a distribuição espacial dos canaviais cultivados na safra 2018/19[7]. O mapa preciso da distribuição da cultura fornece uma máscara essencial ao desenvolvimento das demais etapas, cujo objetivo principal consiste no discernimento das áreas cultivadas em irrigadas ou fertirrigadas ou não.



	Brasil	CENTRO-SUL	NORTE-NORDESTE
mil ton	620.832	573.1254	7.707
mil ton	29.040	26.510	2.530
mil m³	33.103	30.953	2.150
GW/h	21.500		

Figura 5. Mapa da área cultivada com cana-de-açúcar na safra 2018/19 no Brasil, produção e produtos derivados.

Fonte: Agrosatélite, 2019[3] e CONAB 2019[1].

[6] RUDORFF, B.F.T.; AGUIAR, D.A.; SILVA, W.F.; SUGAWARA, L.M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M.A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. Remote Sens. 2010, 2, 1057-1076.

[7] Agrosatélite, 2019. Projeto Canasat safra 2018/19. Mapeamento por imagens de satélites de sensoriamento remoto da cana-de-açúcar no Brasil. Agrosatélite Geotecnologia Aplicada Ltda. Florianópolis, 2019.

3.2 DEFICIÊNCIA HÍDRICA 2014-2018

A análise da deficiência hídrica do Brasil para o cultivo da cana-de-açúcar tem por finalidade apresentar as regiões com maior ou menor aptidão edafoclimática para produção de cana em larga escala. A Deficiência Hídrica (DEF) é a quantidade de água que a cultura necessita para suprir plenamente sua demanda a fim de expressar o seu potencial produtivo na ausência de outros fatores limitantes ao crescimento, como adubação, falhas de plantio, pragas, doenças etc. Portanto, a deficiência hídrica é o parâmetro que melhor representa o impacto da falta ou da suplementação de água na produtividade agrícola da cana.

A DEF é obtida a partir da diferença entre a Evapotranspiração Máxima (ETm) e a Evapotranspiração Real (ETr), ou seja, quanto menor essa diferença melhor a cultura está sendo suprida pela água disponível no solo. Neste estudo, o cálculo foi realizado com base no balanço hídrico proposto por Thornthwaite-Mather (1955)[8]. O modelo meteorológico de mesoescala denominado WRF (*Weather Research and Forecasting*) foi configurado e rodado para todo o Brasil com resolução de 15 km e saídas diárias das seguintes variáveis: temperatura a 2 m de altura, temperatura máxima, temperatura mínima, vento a 10 m de altura corrigido para 2 m (u2 = u10 * 0.748)[9], radiação de onda curta, radiação líquida, umidade relativa e precipitação.

A Figura 6 apresenta os valores das áreas de cana-de-açúcar por faixa de DEF para os estados das regiões Centro-Sul e Norte-Nordeste, considerando a média anual 2014-2018 (período mais seco que a média histórica). Os canaviais avaliados no Nordeste estão em sua maioria (95,7%; 1.122,3 mil ha) localizados em regiões com DEF entre 800 e 1.599 mm/ano. Uma pequena parcela de 20,2 mil ha (1,7%) se encontra numa faixa de extrema DEF (entre 1.600 e 2.250 mm/ano) situada no município de Juazeiro-BA, ou seja, 97,4% dos canaviais do Norte-Nordeste estão em condições de DEF acima de 800 mm/ano e somente 3,1% (37,6 mil ha) estão em faixas abaixo de 800 mm/ano.

No Centro-Sul, 96,2% (9.580,2 mil ha) dos canaviais estão em DEF abaixo de 800 mm/ano e somente 3,8% (371,0 mil ha) estão em regiões de DEF acima de 800 mm/ano, concentrados principalmente nos estados de Minas Gerais (190,6 mil ha) e Goiás (180,4 mil ha). Esses valores médios das safras recentes (2014-2018) são superiores à média histórica do período histórico 1997-2012.

A avaliação do déficit indica que a disponibilidade hídrica proveniente das chuvas favorece bem mais os canaviais do Centro-Sul em comparação com os da região Norte-Nordeste que demandam mais irrigação para atingirem patamares de produtividade economicamente viáveis.

[8] THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Centerton: Drexel Institute of Tecnology, 1955.

[9] ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).

Tanto o déficit como a necessidade de irrigação, que será abordada posteriormente, foram calculados para estabelecer zonas homogêneas para a identificação de áreas irrigadas em imagens de satélite. Essas estimativas não indicam, por si só, uma recomendação de lâmina a ser aplicada ou a viabilidade econômica da irrigação.

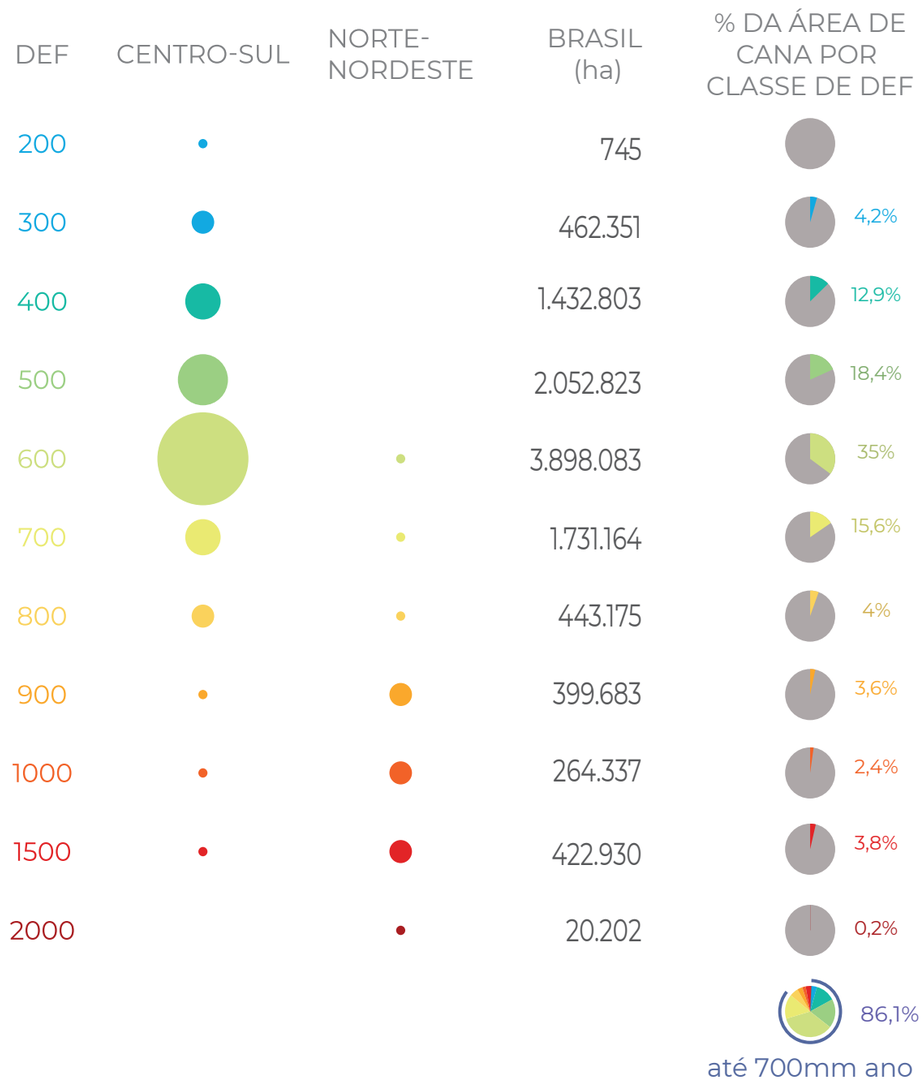


Figura 6. Área de cana-de-açúcar cultivada por classe de deficiência hídrica média (2014-2018).

Nota: a deficiência hídrica não representa a necessidade de irrigação (abordada no item 4.3).

3.3 CLASSIFICAÇÃO DA CANA IRRIGADA

A utilização da plataforma para processamento de imagens de satélite em nuvem *Google Earth Engine*[10] auxiliou no desenvolvimento da metodologia para identificação das áreas de cana-de-açúcar irrigadas. Devido à grande capacidade de processamento desta plataforma e a consequente agilidade na prototipagem de algoritmos de processamento de imagens, foi implementada uma métrica extraída com base no índice de vegetação, semelhante à metodologia empregada por ANA (2017)[11]. A utilização da plataforma *Google Earth Engine* possibilita a avaliação quase imediata dos diferentes resultados de algoritmos de geoprocessamento, viabilizando diversos testes metodológicos com diferentes métricas e janelas temporais.

Para o mapeamento dos canaviais irrigados foram utilizadas imagens do índice de vegetação EVI2 (*Two-band Enhanced Vegetation*) produzidas a partir da composição de 16 dias das imagens diárias adquiridas pelo sensor MODIS (produto MOD13Q1).

Com este índice foram realizados testes metodológicos para definir a melhor métrica de realce das áreas irrigadas. Quase uma centena de métricas foram testadas considerando que o melhor período de análise para diferenciar entre áreas irrigadas e não irrigadas é em torno da data de colheita/corte do canavial. Essa data foi estimada com base na identificação da ocorrência do mínimo valor do EVI2 entre março de um ano e junho do ano seguinte.

A métrica selecionada neste estudo foi construída considerando a integração dos valores de EVI2 dois meses antes e dois meses depois da colheita para as quatro últimas safras, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 7. Essa métrica foi denominada de EBA (EVI, *before and after*) e é composta pelo somatório dos valores de EVI2 (E) antes (B, *before*) e depois (A, *after*) do mínimo valor de EVI2. O maior valor de EBA observado em uma das quatro safras analisadas foi selecionado para avaliar se a área de cana está ou não recebendo suplementação de água por irrigação.

[10] GORELICK, Noel et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment, v. 202, p. 18-27, 2017.

[11] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Levantamento da cana-de-açúcar irrigada no Centro Sul do Brasil. Brasília: ANA, 2019.

A pouca disponibilidade de dados de referência espacialmente explícitos inviabiliza uma modelagem estatística automatizada a partir das métricas calculadas. A escolha de limiares de corte na definição de áreas irrigadas e fertirrigadas foi empírica, considerando um conjunto de informações secundárias e primárias obtidas durante o estudo.

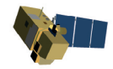
Esta limitação foi determinante na escolha da metodologia empregada neste estudo em que o mapeamento da área irrigada por classe de deficiência hídrica climática foi ajustado por meio do fatiamento dos valores da métrica EBA com base em dados tabulares disponíveis para algumas regiões, obtidos em visita às usinas, questionários recebidos ou por interpretação dos analistas. Esta metodologia favorece a precisão em termos de quantificação da área mapeada em cada classe, embora possa incorrer em imprecisões na alocação espacial (posições das classes no mapa).

Maiores índices de acerto do mapeamento são esperados para canaviais que recebem irrigação mais hidrointensiva em regiões de maior deficiência hídrica. Em regiões de menor deficiência hídrica a irrigação de salvamento pode ser insuficiente para causar algum impacto no desenvolvimento vegetativo da cana. Portanto, áreas de cana irrigadas com lâminas de água pouco significativas e que não causam um diferencial no desenvolvimento vegetativo da cana podem não ser passíveis de identificação por meio da métrica utilizada neste estudo. A ocorrência de deficiências hídricas mais acentuadas nas safras analisadas, por outro lado, favorece o realce de áreas com lâminas menores de aplicação em relação às áreas de sequeiro.

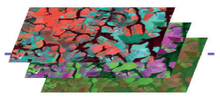
O mapa da deficiência hídrica foi primordial na definição regional dos limiares dos valores do EBA no processo de classificação das áreas irrigadas na região Centro-Sul. Esse mapa foi ajustado em algumas regiões de produção de cana para homogeneizar porções limítrofes de faixas de DEF e compatibilizá-las com o mapa da área cultivada. Com esse ajuste, no Nordeste praticamente todas as áreas de cana ficaram na classe de DEF entre 900 e 1.000 mm/ano. Ainda nessa Região, a informação obtida em campo e junto aos especialistas e instituições das diferentes regiões de produção de cana foi crucial para definir os limiares da métrica EBA para classificação das áreas de cana irrigada.

Sistema de irrigação por aspersão via autoproprelido (carretel enrolador) no município de Pedras de Fogo (PB)
Daniel Aguiar / Banco de imagens ANA

MAPA DA CANA E TRABALHO DE CAMPO



Imagens de satélite

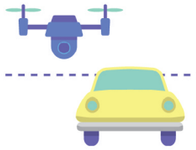


Séries temporais de imagens do sensor MODIS

índice de Vegetação (EVI)

Interpretação de imagens de satélite

Mapa da cana-de-açúcar no Brasil

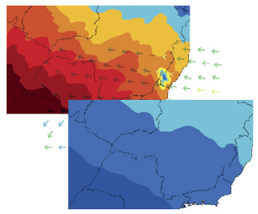


Trabalho de campo

Dados e informações consolidadas

DEFICIÊNCIA HÍDRICA

Modelo Meteorológico

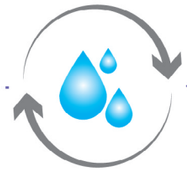


- precipitação;
- temperatura;
- velocidade do vento;
- umidade relativa;
- etc;

Mapa de Solos - CAD

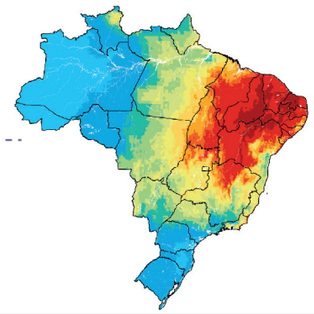
Parâmetros agronômicos-kc, profundidade raízes

Balanço Hídrico



Deficiência hídrica = Evapotranspiração (Máxima - real)

Mapa de Deficiência Hídrica



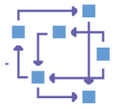
Onde chove menos tem >DEF e onde chove mais tem <DEF

IRRIGAÇÃO
> 800mm/ano

MODIS - Índice de Vegetação (EVI)

Padrão “U”

Padrão “V”



Testes metodológicos para definição de métrica que realce as áreas irrigadas

Métrica Adotada

EBA

EVI **B**efore and **A**fter (antes e depois do corte)

IMAGENS MODIS

Mínimo = corte da cana

FERTIRRIGAÇÃO
< 800mm/ano

Área de cana-de-açúcar em DEF<800mm/ano

Localização das Usinas

- Dados auxiliares;
- PAV-CETESB;
- Usinas - questionários;
- Moagem;

Geoprocessamento

Estimativa da Área Fertirrigada

Limiares da EBA por região e déficit

- Salvamento 20 a 80mm/ano
- Com déficit 200 a 300mm/ano
- Plena 300 a 1000mm/ano
- Fertirrigação 10 a 30 mm/ano

Estimativa das áreas irrigadas e fertirrigadas de cana-de-açúcar no Brasil

Figura 7. Esquema metodológico de classificação das áreas irrigadas e fertirrigadas.

Abra aqui o
Infográfico

Pivô central no município de Juazeiro (BA)
Bernardo Rudorff / Banco de imagens ANA

O mapeamento das áreas de cana-de-açúcar por classe de irrigação utilizou diferentes limiares de fatiamento da métrica EBA em função da deficiência hídrica (DEF) média das quatro últimas safras, por região (Tabelas 1 e 2). Os valores foram determinados com base nas informações obtidas em campo junto a usinas, associações de fornecedores e sindicatos do setor sucroenergético, além da extensa análise de séries temporais de imagens em amostras de áreas irrigadas.

Após a obtenção das classes temáticas S (salvamento), ID (com déficit) e P (plena), com base no fatiamento da métrica EBA, foi realizado um refinamento em áreas classificadas em pivôs centrais: verificou-se a predominância da classe S em condição de DEF abaixo de 700 mm; da classe ID em condição de DEF entre 700 mm e 1.000 mm; e P em condição de DEF acima de 1.000 mm. Ainda com relação aos pivôs, no estado de São Paulo, constatou-se a presença de dezenas de lavouras de cana em formato circular, porém, não irrigadas. Isso ocorre devido à preservação do formato do uso da terra anterior à conversão para cana quando estas áreas estavam equipadas com pivô central para irrigação de culturas anuais. Essa avaliação ocorreu mediante criteriosa interpretação visual de imagens de alta resolução espacial associada à análise das séries temporais do sensor MODIS.

Para as áreas classificadas como irrigadas nas regiões com DEF abaixo de 800 mm foi realizado um pós-processamento, para diminuir a ocorrência de falsos positivos, eliminando as áreas classificadas como irrigadas, caso tivessem sido colhidas entre outubro e março do ano seguinte, uma vez que a ocorrência de chuvas nesse período pode dar a falsa impressão de uma irrigação, quando na realidade isso se deve ao período chuvoso.

Sistema de irrigação por aspersão via autoproprelido (carretel enrolador) no município de Mamanguape (PB)
Daniel Aguiar / Agrosatélite

Tabela 1. Limiares da métrica EBA para classificação dos tipos de irrigação em função da deficiência hídrica (DEF) na região Centro-Sul.

DEF (mm)	TIPOS DE IRRIGAÇÃO	LIMIARES	REFERÊNCIA
600 < DEF ≤ 700	Salvamento (S)	EBA ≥ 3,1	UNICA e especialistas
700 < DEF ≤ 800	Salvamento (S)	EBA ≥ 3,2	Usina ETH Bioenergia em Caçu-GO
800 < DEF ≤ 900	Salvamento (S) Déficit (ID)	2,7 < EBA < 3,1 EBA ≥ 3,1	Usina Jalles Machado, em Goianésia-GO; WD Agroindustrial em João Pinheiro-MG
900 < DEF ≤ 1.000	Salvamento (S) Déficit (ID)	EBA < 2,6 EBA ≥ 2,6	BEVAP em Paracatu-MG
1.000 < DEF ≤ 1.500	Déficit (ID) Plena (P)	EBA < 2,4 EBA ≥ 2,4	Usina SADA em Jaíba-MG

Tabela 2. Limiares da métrica EBA para classificação da cana irrigada em função da deficiência hídrica (DEF) e das diferentes características regionais observadas na região Norte-Nordeste.

DEF (mm)	TIPOS DE IRRIGAÇÃO	LIMIARES	REFERÊNCIA
900 < DEF ≤ 1.000	Salvamento (S) Déficit (ID)	2,7 < EBA < 3,3 EBA ≥ 3,3	Região de Coruripe em Alagoas
		2,9 < EBA < 3,7 EBA ≥ 3,7	Região da Usina Taquari em Capela-SE
	Salvamento (S)	EBA ≥ 3,4	Região da Usina Santo Antônio em São Luís do Quitunde-AL
	Salvamento (S) Déficit (ID)	3,0 < EBA < 3,7 EBA ≥ 3,7	Região da Usina Giasa em Pedras de Fogo-PB
		EBA < 2,6 EBA ≥ 2,6	Usina Bunge em Pedro Afonso-TO
1.000 < DEF ≤ 1.500	Salvamento (S) Déficit (ID)	2,1 < EBA < 2,5 EBA ≥ 2,5	Usina Bunge em Pedro Afonso-TO
DEF ≥ 1.500 mm	Plena (P)	EBA ≥ 2,4	Usina Agrovale em Juazeiro-BA
	Salvamento (S) Déficit (ID)	EBA < 2,7 EBA ≥ 2,7	Áreas do Maranhão e do Piauí

Sistema de irrigação por alas móveis no município de São José da Laje (AL)
Daniel Aguiar / Banco de imagens ANA

3.4 ESTIMATIVA DA CANA FERTIRRIGADA

A estimativa da área fertirrigada por meio do índice EBA apresenta limitações, pois os valores do EBA, acima de uma determinado limiar, devem representar os canaviais com maior vigor vegetativo e melhor desenvolvimento; contudo, isso não se deve necessariamente à fertirrigação podendo estar relacionado a outros fatores, particularmente em regiões de menor déficit hídrico onde essa prática pode ser irrelevante em temos de diminuição do déficit hídrico da cultura sem qualquer impacto no aumento do valor do EBA.

Nas regiões de menor DEF (abaixo de 800 mm/ano), que concentram 96,2% da área de cana do Centro-Sul e onde se faz uso intenso da fertirrigação, uma metodologia de estimativa da área fertirrigada por meio de técnicas de geoprocessamento que considere a área de cana por município associada a um percentual médio de fertirrigação se propõe a fornecer uma estimativa mais aderente à realidade do setor.
Portanto, a metodologia para estimativa da área fertirrigada seguiu por uma abordagem alternativa considerando dados de questionários recebidos das usinas referente ao percentual de área fertirrigada em relação à área total administrada, a moagem das usinas, a localização das usinas e o mapa da área de cana cultivada (Figura 7).

As etapas realizadas foram (Figura 7): 1) geolocalização das usinas de cana do Brasil, totalizando 327 usinas na faixa de até 800 mm/ano de deficiência hídrica climática[12]; 2) identificação e associação da capacidade de moagem das usinas[13]; 3) cálculo da área de produção de cada usina com base no valor de produtividade média[14]; 4) estimativa do percentual de área fertirrigada em relação à área cultivada das usinas[15]; 5) modelagem do raio de abrangência da fertirrigação[16]; e 6) estimativa da área fertirrigada por munícipio com base no mapa de cana cultivada[17].

[12] Todas as usinas foram geolocalizadas a partir de dados secundários, sites de usinas e informações disponibilizadas em https://www.novacana.com/.

[13] Informações obtidas em https://www.novacana.com/ e sites das usinas.

[14] 73 ton/ha (UNICA/CTC).

[15] Questionários respondidos por 11 usinas do estado de São Paulo, que respondem por uma área de cana de 412 mil ha (7% da área do estado); além de informações georreferenciadas dos Planos de Aplicação de Vinhaça (PAV) disponibilizadas pela CETESB, correspondendo a 1,5 milhão de ha cultivados e 560 mil ha potencialmente fertirrigados.

[16] Área fertirrigada (ha)/(0,3794-1.078,4).

[17] Mapa de cana cultivada do projeto Canasat - Safra 2018/19.

4 ÁREAS IRRIGADAS E FERTIRRIGADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Pivô central no município de São Miguel dos Campos (AL)
Daniel Aguiar / Banco de imagens ANA

4.1 ÁREAS IRRIGADAS

A Figura 8 apresenta uma síntese das áreas de cana irrigadas, por estado, região e tipologia de irrigação (salvamento, déficit e plena). A Figura 9 ilustra os resultados por município. Os resultados da fertirrigação são abordados no item 4.2. O item 4.3 apresenta uma síntese integrada dos resultados das áreas identificadas e do uso da água associado.

De forma geral, 748,9 mil ha de cana são irrigados com água de mananciais no Brasil, sendo essa técnica mais relevante no Norte-Nordeste (irrigação em 38,5% dos canaviais) do que no Centro-Sul (2,9% dos canaviais). Em números absolutos, são irrigados 292,5 mil ha no Centro-Sul e 456,4 no Norte-Nordeste. Na média nacional, portanto, 6,6% dos canaviais são irrigados. Dentre as tipologias, o salvamento é responsável por 76% da área irrigada.

No Centro-Sul a grande maioria dos canaviais está concentrada em regiões de menor deficiência hídrica onde os níveis de precipitação são adequados para atingir patamares de produtividade agrícola que, em geral, não compensam o alto investimento demandado pela irrigação. Neste sentido, os manejos da irrigação de salvamento (S), irrigação com déficit (ID) e irrigação plena (P) com água de mananciais estão restritos a uma parcela relativamente pequena dos canaviais localizados em áreas de maior deficiência hídrica conforme o resultado apresentado na Figura 8.

A irrigação plena foi constatada apenas em 9,1 mil ha (0,1% da cana do Centro-Sul) nos canaviais da Usina SADA, localizada no Semiárido em Jaíba-MG e inserida no Projeto Jaíba da CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba), na margem direita do Rio São Francisco. A irrigação com déficit que visa fornecer água para a cultura da cana ao longo dos meses de maior deficiência hídrica

foi estimada em 47,2 mil ha para Minas Gerais e 32,3 mil ha em Goiás perfazendo um total de 79,6 mil ha (0,8 % da cana do Centro-Sul). A irrigação de salvamento realizada com água de mananciais, e eventualmente misturada ou consorciada com vinhaça ou água residuária, é mais expressiva em Goiás e Minas Gerais com 102 mil ha e 83,2 mil ha, respectivamente. Ao todo estimou-se que a área de cana irrigada no Centro-Sul é de 292,5 mil ha que equivale a 2,9% da área de cana desta região (Figuras 8 e 9).

No Norte-Nordeste os canaviais são cultivados sob condições de elevada deficiência hídrica onde os níveis de precipitação pluviométrica estão muito aquém da demanda hídrica da cultura da cana.

A área irrigada nessa região foi estimada em 456,4 mil ha correspondendo a 38,5% da área dos canaviais (Figuras 8 e 9). Predomina a irrigação de salvamento estimada em 363,2 mil ha (80,0%), seguida da irrigação com déficit em 74,3 mil ha (15,9%) e da irrigação plena em 18,9 mil ha (4,1%) - essa última tipologia concentrada nos canaviais da Usina Agrovale, no município de Juazeiro-BA, além de 200 ha em Alagoas.

Ressalta-se que, com o aumento do déficit hídrico (aumento da necessidade de irrigação), em especial no Norte-Nordeste, o salvamento tende a ser consorciado com a fertirrigação propriamente dita, seja pela aplicação de lâminas alternadas (fertirrigação-irrigação) ou a diluição da vinhaça e águas residuárias com água captada em mananciais, em geral na proporção 1:2 ou 1:3. Assim, essas áreas são classificadas como salvamento. Ou seja, a separação entre as modalidades de irrigação e fertirrigação perde relevância quando comparada com as regiões de menor déficit hídrico no Centro-Sul - onde está concentrada a maior parte da área cultivada.

Verificou-se também em campo a aplicação de fertirrigação seguida de irrigação com déficit no Nordeste. A irrigação com déficit (ID) foi constatada principalmente em Alagoas onde o resultado foi considerado compatível com os dados coletados em campo. Ainda em Alagoas a área de déficit é cerca de 20% da área de salvamento, valor aderente com o que foi mapeado pela métrica EBA, segundo dados obtidos em campo. O estado de Alagoas tem a maior área irrigada do Norte-Nordeste com 174.382 ha, que correspondem a 42,8% dos canaviais do estado e a 36,8% dos canaviais irrigados na região.

Dada a elevada condição de deficiência hídrica dos canaviais nos estados do Maranhão e do Piauí eles foram todos classificados como irrigados com cerca de metade da área de cana para irrigação de salvamento e metade para irrigação com déficit. Em Tocantins, 56,3% dos canaviais foram classificados como irrigados, sendo 78,6% como salvamento (inclui a fertirrigação) e 21,4% como irrigação com déficit.

Para os demais estados do Nordeste (AL, PE, PB, RN e SE), a área de cana irrigada representa 32,6% da área cultivada. Esse resultado é compatível com os dados de campo onde se reportou a área de cana irrigada em 33,3% dos canaviais (a partir de uma amostra de 550 mil ha cultivados na região).

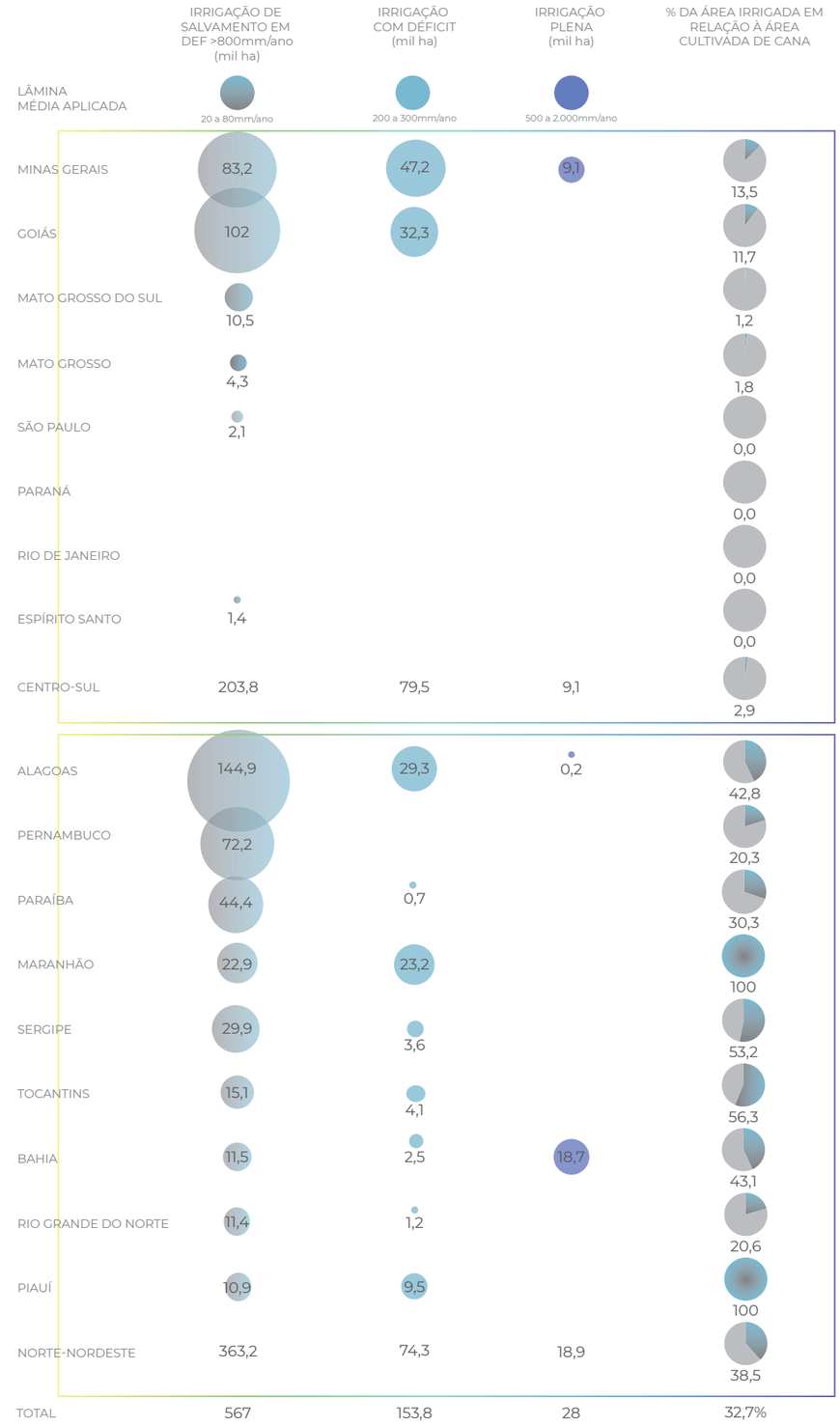


Figura 8. Área de cana irrigada por estado, região e tipologia de irrigação.

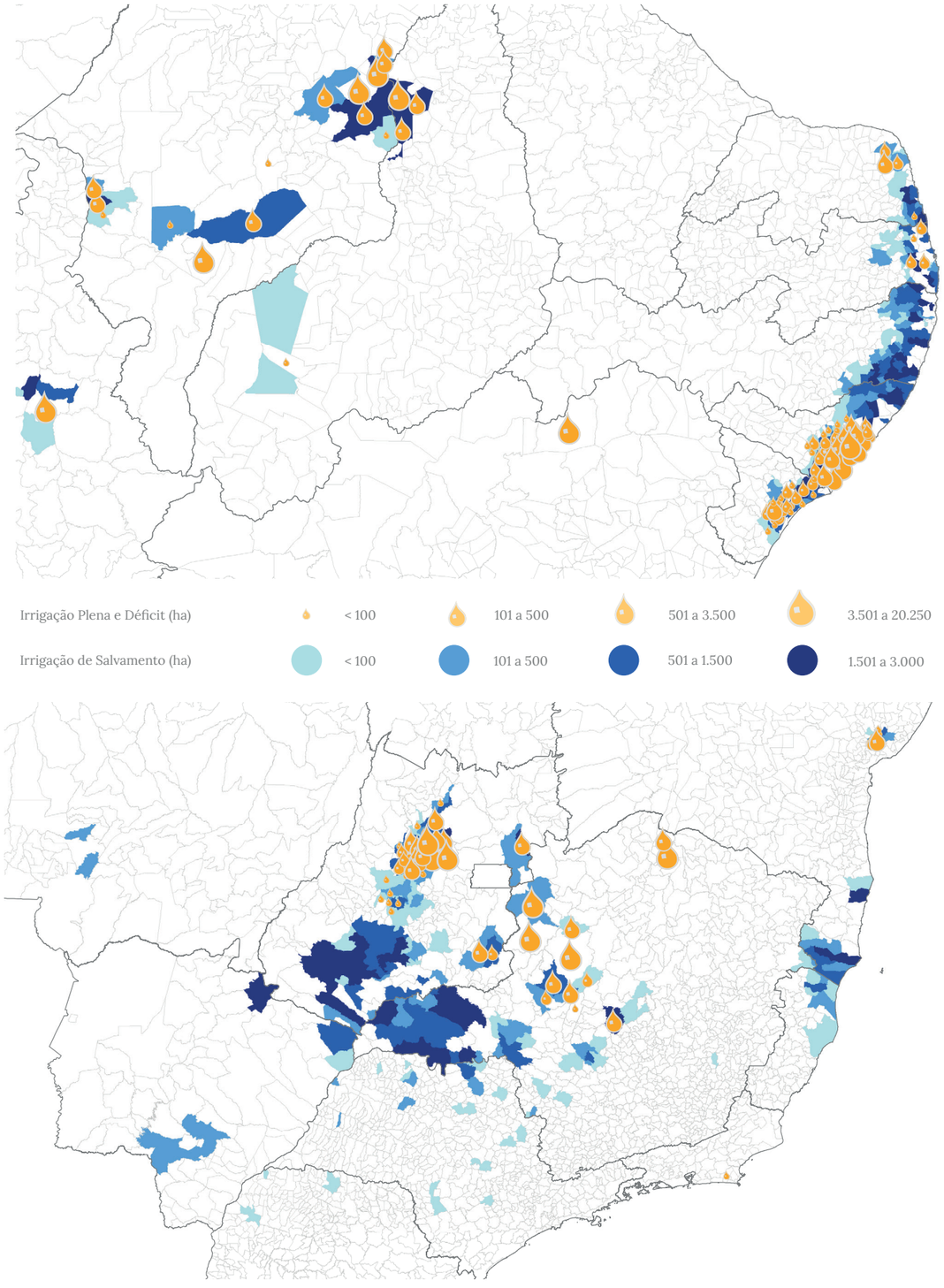


Figura 9. Áreas de cana irrigada por município e tipologia de irrigação.

O mapeamento da irrigação em pivôs tem um alto índice de acerto devido à relativa facilidade de identificação do padrão circular dos pivôs nas imagens de satélite e sua associação com os maiores valores da métrica EBA.

Especificamente em pivôs centrais, a área total de cana irrigada no Brasil foi estimada em 76.108 ha, sendo 88,7% no Centro-Sul (67.541 ha) e 11,3% no Norte-Nordeste (8.567 ha). Essas áreas estão concentradas em Minas Gerais e Goiás, no Centro Sul, e em Tocantins, no Norte-Nordeste (Figura 10).

Especificamente no Estado de São Paulo, há muitas áreas de cana não irrigadas em formato circular (em geral, áreas que eram para irrigação de grãos por pivôs), as quais foram removidas do mapeamento. Restaram 2.163 ha de cana efetivamente cultivados com irrigação por pivôs centrais.

Considerando os dados do Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil (www.snirh.gov.br > Usos da Água), conclui-se que 5% da área equipada por pivôs centrais está sendo cultivada com cana-de-açúcar no País.

ÁREAS IRRIGADAS DE CANA POR PIVÔS CENTRAIS

Figura 10. Área de cana irrigada em pivôs centrais, por região e estado

4.2 ÁREAS FERTIRRIGADAS

A fertirrigação realizada primordialmente com o intuito de aproveitar racionalmente a vinhaça e a água residuária provenientes do processo industrial de fabricação do açúcar e do etanol é bem mais intensa no Centro-Sul já que essa região produz mais de 90% do etanol e do açúcar nacional.

Estima-se que o setor produtivo da cana esteja equipado para fertirrigar em torno de 30% da área canavieira com pequenas lâminas que variam de 5 a 60 mm distribuídas de forma relativamente homogênea, independentemente da deficiência hídrica, mas em conformidade com as necessidades nutricionais da cultura canavieira e com as normativas dos órgãos ambientais estaduais.

Com os significativos avanços tecnológicos no processo de fabricação do etanol e do açúcar as usinas modernas estão ficando cada vez mais eficientes no uso da água vinda dos mananciais. Por outro lado, a aplicação localizada da vinhaça nas linhas do canavial permite aplicar a vinhaça, juntamente com outros nutrientes, em áreas bem mais extensas.

As análises de geoprocessamento realizadas com a finalidade de estimar a área de cana fertirrigada consideraram os canaviais da região Centro-Sul (incluindo os canaviais do sul da Bahia) que se encontram em condição de deficiência hídrica climática abaixo de 800 mm/ano (Figura 5). Estes canaviais representam 96,2% da área de cana da região Centro-Sul.

Uma síntese das estimativas das áreas fertirrigadas é apresentada nas Figuras 11 e 12. As estimativas apontam que 2,9 milhões de hectares (Mha) no Centro-Sul recebem fertirrigação, o que corresponde a 29,1% da área total de cana. O estado de São Paulo fertirriga 2 Mha (33,6% da área canavieira). Esses resultados mostram-se compatíveis com os grandes números do setor.

A Figura 12 apresenta ainda uma síntese do levantamento considerando as áreas totais e as proporções entre irrigação e fertirrigação, por estado e região. A próxima seção detalhará a análise integrada dos resultados do levantamento de áreas irrigadas e o uso da água associado.

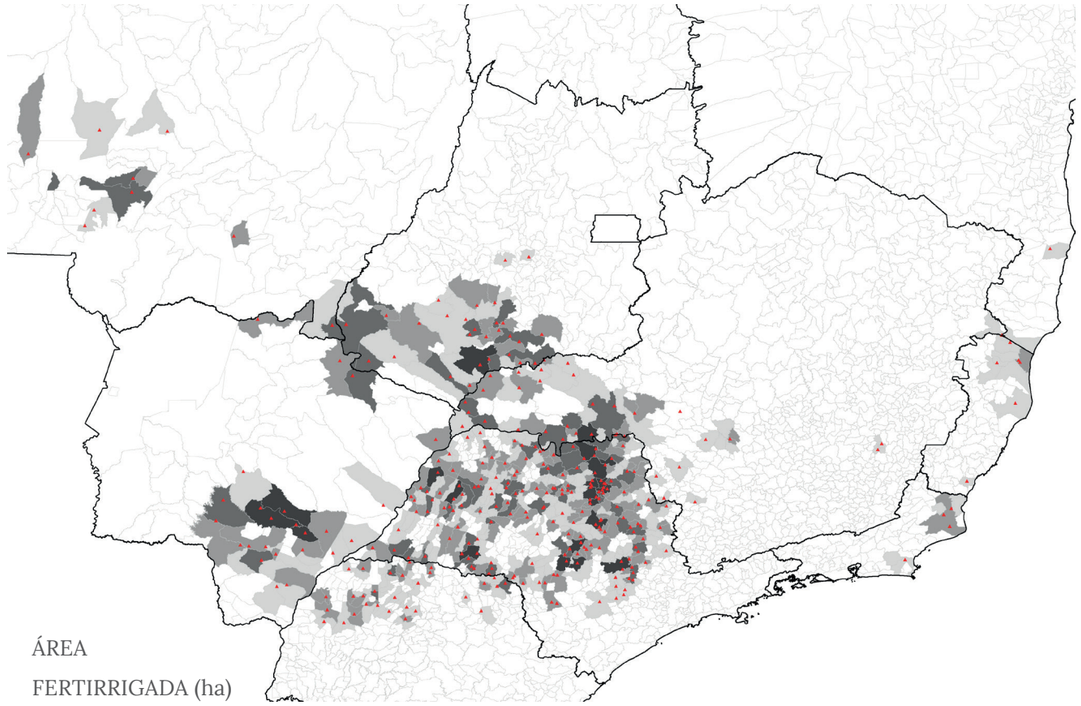


Figura 11. Áreas fertirrigadas por município em regiões de menor deficiência hídrica e localização das usinas.

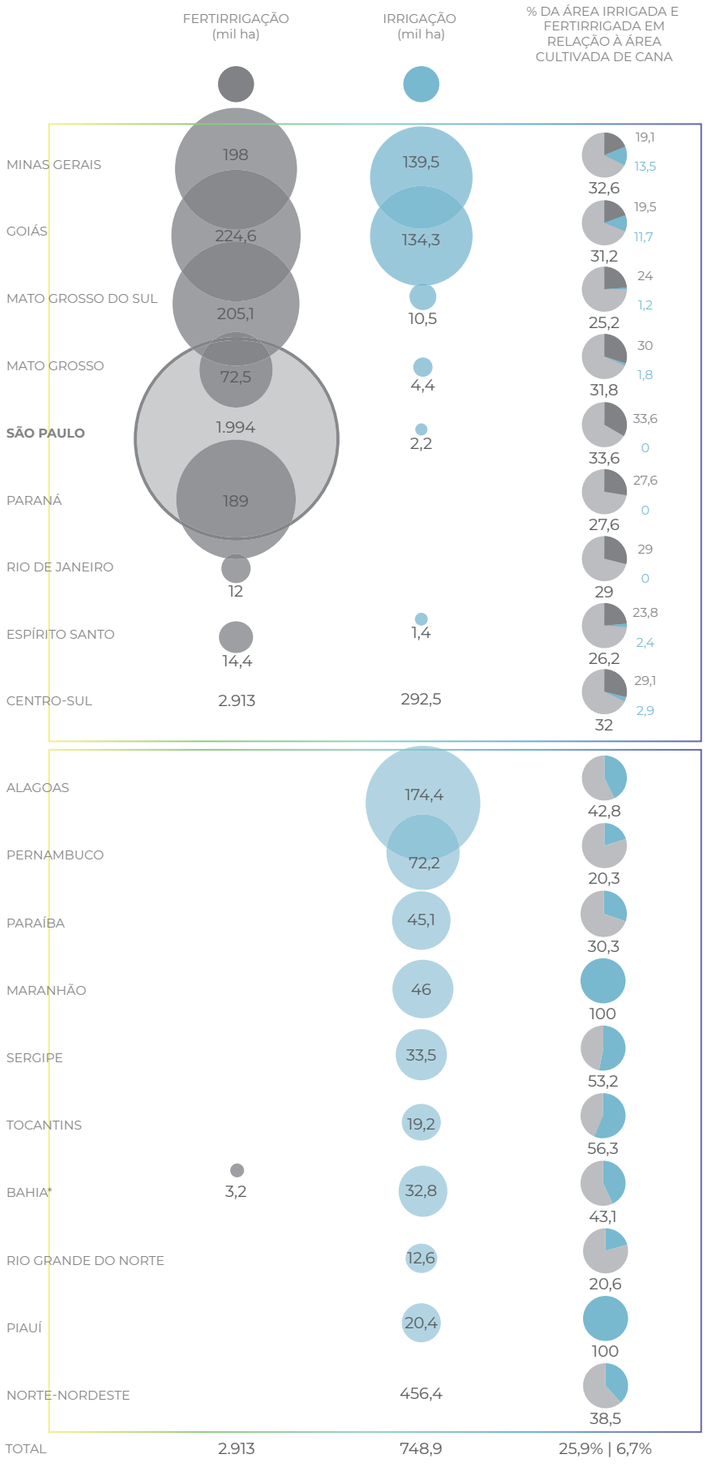


Figura 12. Área de cana irrigada e fertirrigada, por estado e região, e percentuais em relação ao total de cana cultivada.

*Municípios da Bahia com deficiência hídrica climática menor que 800mm/ano, contabilizados no total da região CS.

Nota: no Norte-Nordeste, irrigação e fertirrigação tendem a ocorrer consorciadas, sendo as áreas classificadas como "salvamento".

4.3 SÍNTESE DOS RESULTADOS E USO DA ÁGUA

Considerando a aplicação de água nos canaviais, o Brasil possui atualmente 2,9 milhões de ha (Mha) fertirrigados (79,5%) e 749 mil ha irrigados (20,5%), totalizando 3,66 Mha. O volume de água aplicado anualmente supera 2,1 bilhões de m³ (ou 2,1 trilhões de litros), sendo 27,7% destinados às áreas fertirrigadas e 72,3% destinados às áreas irrigadas (Figuras 13 e 14).

A Figura 13 detalha as proporções entre área irrigada e volume de água aplicado nas tipologias utilizadas no levantamento. Os dados reiteram a associação de baixos volumes por unidade de área na fertirrigação e no salvamento; e de maiores volumes na irrigação por déficit e plena.

Em relação à irrigação propriamente dita, com águas de mananciais, os 749 mil ha identificados correspondem a 6,6% dos canaviais brasileiros (Figura 14), que ocupam atualmente 11,2 Mha. Esses 6,6% estão subdivididos em 292,5 mil ha no Centro-Sul (39% do total) e 456,4 mil ha no Norte-Nordeste (61%). Embora 89,1% da área total de cana seja cultivada no Centro-Sul, a área irrigada nesta região é de apenas 2,9%, ao passo que no Norte-Nordeste, que cultiva apenas 10,9% da área total no Brasil, a irrigação se faz presente em 38,5% dos canaviais (Figura 14).

Por outro lado, na região Centro-Sul a fertirrigação realizada com vinhaça e água residuária apresenta área bem mais expressiva com 2.912,8 mil ha correspondendo a 29,1% do cultivo de cana da região (Figura 14). O Centro-Sul totaliza, portanto, 35,8% dos canaviais recebendo alguma aplicação de água, sendo 90% por fertirrigação. Na região

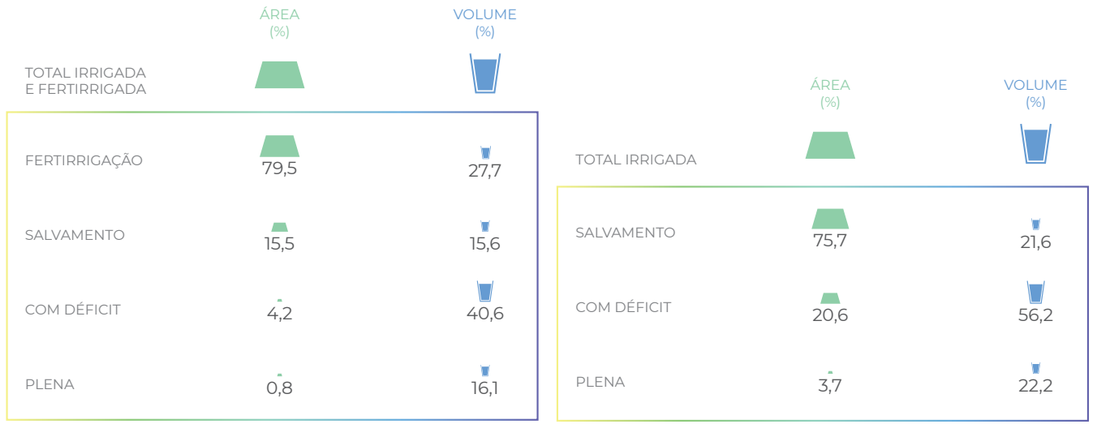


Figura 13. Área de cana irrigada e fertirrigada e volume de água médio anual, por tipologia.

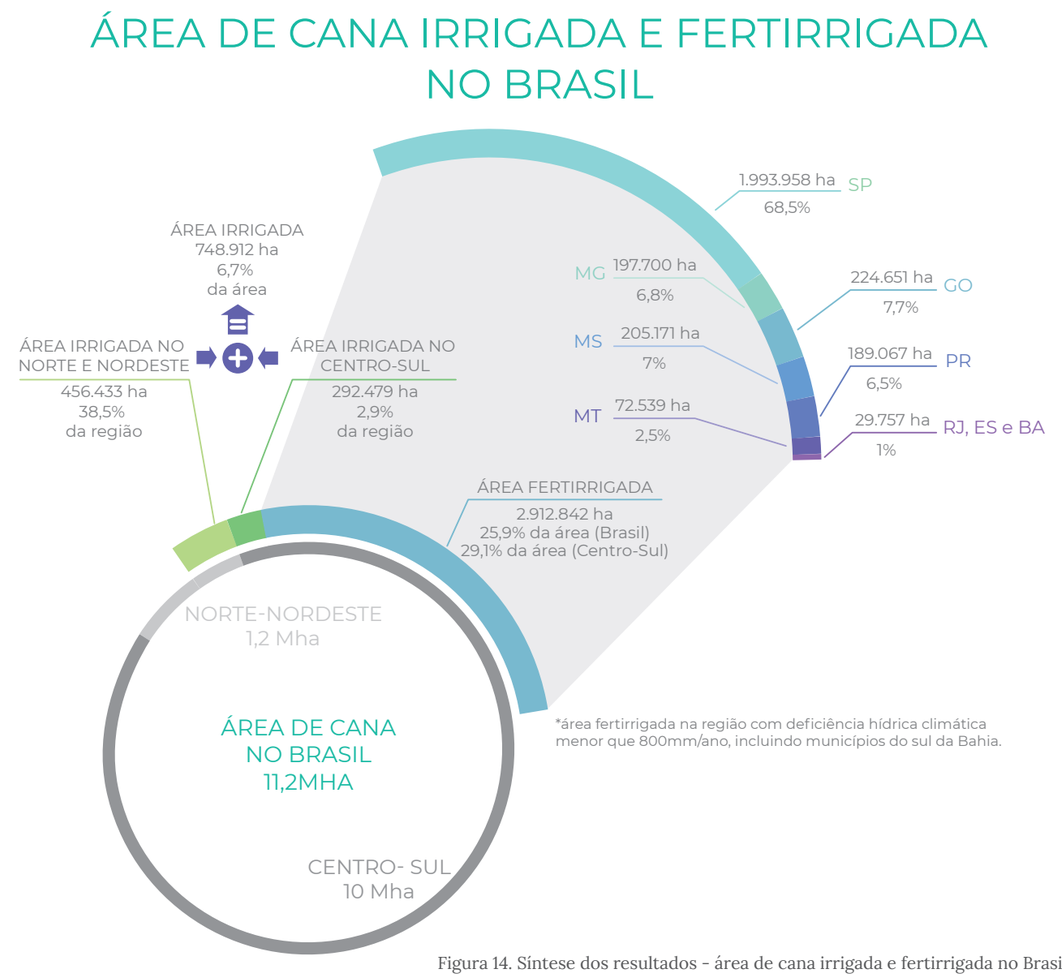


Figura 14. Síntese dos resultados - área de cana irrigada e fertirrigada no Brasil.

Norte-Nordeste a vinhaça e a água residuária são em geral misturados à água da irrigação, de forma direta ou na sucessão de aplicações (lâmina de fertirrigação seguida de lâmina de salvamento com diluição), não havendo distinção entre as categorias. Assim, todas essas áreas são classificadas como salvamento.

A fertirrigação pura ou com pequenas parcelas de diluição predomina nas regiões de menor deficiência hídrica, notadamente em São Paulo (68,5%), Goiás (7,7%), Mato Grosso do Sul (7,0%), Minas Gerais (6,8%) e Paraná (6,5%). O perfil de uso da água é similar entre os Estados, já que as lâminas médias aplicadas não tendem a variar significativamente, embora as variações sejam maiores na comparação de unidades sucroenergéticas específicas.

Na irrigação propriamente dita, o salvamento responde por 75,7% da área e 21,6% do uso da água (ou 329 milhões de m³), sendo que uma parte dessa água é oriunda do processo agroindustrial e diluída ou consorciada com águas de mananciais. Já as categorias de irrigação déficit e plena somam 24,3% da área mas totalizam 78,4% do uso (ou 1,2 bilhão de m³).

Observa-se que, do ponto de vista do uso da água, as quatro categorias analisadas agrupam-se em dois perfis: o de baixa hidrointensidade de aplicação (fertirrigação e salvamento), com perfil médio de uso da água entre 200 e 580 m³ por hectare por ano (m³/ha/ano) e alto reuso de água do processo agroindustrial; e o de alta hidrointensidade (déficit e plena), com perfil médio de 6.557 (m³/ha/ano) e água captada diretamente em mananciais. Ou seja, ao longo de um ano a água utilizada em um hectare de irrigação por déficit/plena é aplicada, em média, em 25 hectares de fertirrigação/salvamento.

A importância do primeiro grupo reside na grande área de aplicação que chega a 3,48 Mha (95% do total) e à localização de grandes áreas no litoral nordestino, em bacias hidrográficas costeiras de menor disponibilidade hídrica - como as bacias dos rios Japaratuba (SE), Sergipe (SE), afluentes do baixo São Francisco (AL/SE), Jequiá/Ipoca (AL), Coruripe (AL), Sumaúma (AL), São Miguel (AL), Manguaba (AL), Sirinhaém (PE), Capibaribe (PE), Goiana (PE), Una (PE), Mamanguape (PB), Paraíba (PB) e Trairi (RN).

Já o grupo de maior hidrointensidade, embora ocupando apenas 5% da área, é responsável por 56,7% do volume de água que é demandado de poucos corpos hídricos concentrados em Minas Gerais (31,0%), Goiás (17,8%), Alagoas (16,2%), Maranhão (12,8%) e Bahia (11,7%) (Figura 16). Em termos de bacias hidrográficas, destacam-se rios contribuintes às bacias do Paranaíba (em MG/GO: rios Tijuco, Turvo, dos Bois), do Grande (em MG: ribeirão Dourado, rio Uberaba) e do Tocantins (em GO: rios das Almas e dos Patos, afluentes do rio Maranhão). No Semiárido baiano, em Juazeiro, ocorre a maior demanda hídrica local para cana do Brasil – são necessários mais de 12 mil m³ por hectare ao ano (1.200 mm/ano), em média. Essas águas são derivadas do rio São Francisco.

Além de informações secundárias e de campo que permitiram calibrar a metodologia e validar os resultados obtidos, observa-se que a distribuição de áreas irrigadas e fertirrigadas é condizente com a própria necessidade de irrigação da cana-de-açúcar no Brasil, apresentada na Figura 15. O mapa consiste na deficiência hídrica média anual (Figura 3) subtraída de 200 mm, que corresponde ao estresse hídrico aproximado ao qual a cana deve estar sujeita antes da colheita.

A necessidade de irrigação não representa uma recomendação de lâmina a ser aplicada ou a viabilidade econômica de se irrigar, que pode ocorrer mesmo em áreas de baixa necessidade de irrigação. Os mapas reiteram: a) a baixa necessidade média de irrigação no Centro-Sul, que só aumenta em direção ao Triângulo Mineiro e ao Sudoeste Goiano; b) a maior necessidade de suplementação hídrica no Norte-Nordeste; e c) que ambas as regiões enfrentaram nos anos recentes clima mais desfavorável que a média histórica para desenvolvimento da atividade.

A Figura 16 apresenta a síntese dos resultados de áreas irrigadas e de uso da água associado por estado e região, nas tipologias adotadas.

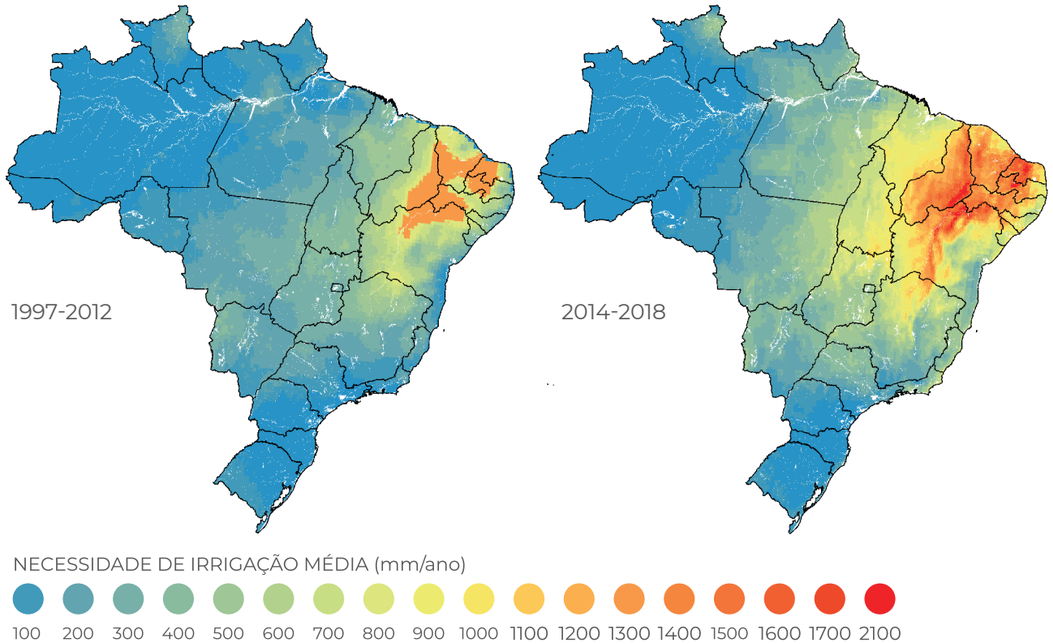


Figura 15. Necessidade de irrigação média anual para cana

Nota: a necessidade de irrigação não representa uma recomendação de lâmina a ser aplicada ou a viabilidade econômica, que pode ocorrer mesmo em áreas de baixa necessidade de irrigação.

A Tabela 3 lista os municípios com as maiores áreas fertirrigadas/irrigadas. Conforme vem sendo discutido, o uso potencial da água não é diretamente proporcional às áreas mapeadas, em função da natureza dos manejos da água nas diferentes tipologias. Alagoas, Minas Gerais e Goiás são exemplos onde tanto a área quanto o uso da água são relevantes, mas há também exemplos como São Paulo e Bahia: o primeiro com a maior área fertirrigada do País tem o seu uso da água em grande parte associado ao reuso agronômico do processo industrial; enquanto a Bahia, que figura dentre as menores áreas irrigadas, tem um dos maiores usos da água com o cultivo em áreas de elevado déficit hídrico.

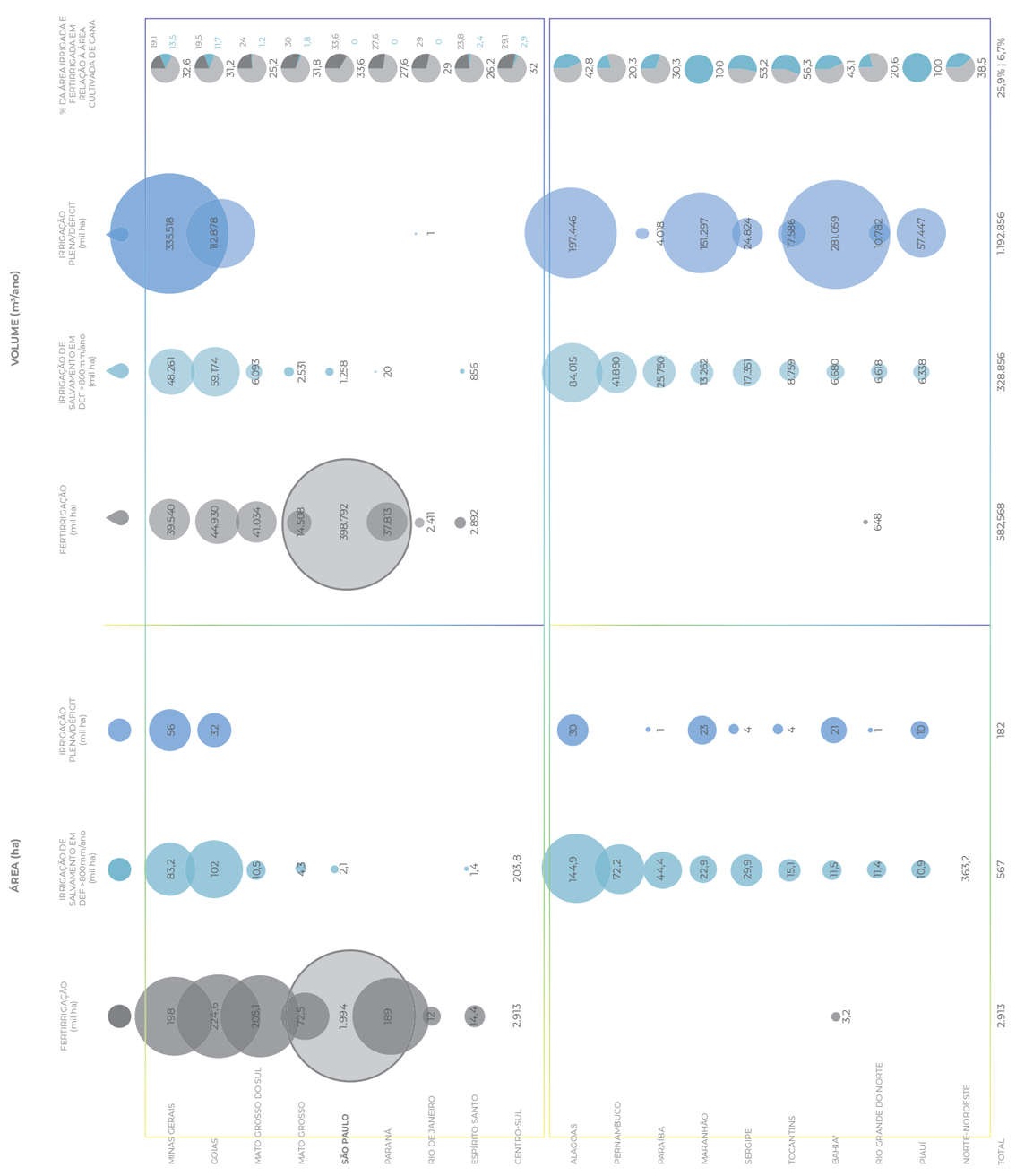


Figura 16. Área de cana irrigada e fertirrigada e uso da água no Brasil.

*Municípios da Bahia com deficiência hídrica climática menor que 800mm/ano, com área contabilizada no total do Centro-Sul.

Nota: no Norte-Nordeste, irrigação e fertirrigação tendem a ocorrer consorciadas, sendo as áreas classificadas como “salvamento”.

Tabela 3. Maiores áreas irrigadas por município e tipologia de irrigação/fertirrigação.

IRRIGAÇÃO - SALVAMENTO

UF	MUNICÍPIO	ÁREA (HA)
AL	Coruripe	28.706
AL	São Miguel dos Campos	12.551
TO	Pedro Afonso	11.844
MG	João Pinheiro	11.764
AL	Jequiá Da Praia	11.013
MA	São Raimundo das Mangabeiras	10.258
PE	Goiana	10.056
PB	Santa Rita	9.600
AL	Penedo	8.244
MG	Paracatu	8.083

IRRIGAÇÃO - DÉFICIT E PLENA

UF	MUNICÍPIO	ÁREA (HA)
BA	Juazeiro	20.213
MG	João Pinheiro	18.495
MG	Paracatu	17.070
AL	Coruripe	10.772
GO	Vila Propício	8.998
MG	Jaíba	8.657
MG	Unaí	6.275
MA	Aldeias Altas	6.035
PI	União	5.557
GO	São Luíz Do Norte	5.022

FERTIRRIGAÇÃO

UF	MUNICÍPIO	ÁREA (HA)
SP	Morro Agudo	42.701
MS	Rio Brilhante	36.404
SP	Guaíra	34.987
SP	Jaboticabal	31.017
SP	Paraguaçu Paulista	29.949
SP	Valparaíso	29.865
MS	Angélica	29.367
GO	Quirinópolis	28.845
MS	Nova Alvorada Do Sul	27.951
SP	Pitangueiras	27.383

Áreas de Cana-de-açúcar na região de Indiaporã (SP), nas proximidades do rio Grande
Raylton Alves / Banco de imagens ANA

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cultivo de cana no município de Paranapanema (SP)
Bernardo Rudorff / Banco de imagens ANA

A agricultura irrigada gera riquezas, empregos e movimenta importantes cadeias produtivas agropecuárias e agroindustriais. Dentre os diversos benefícios observados na prática da irrigação, pode-se destacar o aumento significativo da produtividade em relação à agricultura de sequeiro, a diminuição da pressão para a abertura de novas áreas agrícolas, a otimização do uso da terra e de insumos (máquinas, implementos, mão-de-obra etc.), o aumento e a regularidade na oferta de produtos agrícolas, o estímulo à implantação de agroindústrias e a minimização de riscos climáticos.

Embora seja o maior e mais dinâmico setor usuário de recursos hídricos, a irrigação carece de dados e informações em escalas adequadas ao planejamento e à gestão setorial e dos recursos hídricos. A ANA tem desenvolvido estudos que culminaram, em 2017, na primeira edição do Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada (http://atlasirrigacao.ana.gov.br). O Levantamento da Cana-de-Açúcar Irrigada e Fertirrigada no Brasil faz parte dos esforços de atualização e ampliação do Atlas Irrigação, seguindo a estratégia de abordar a irrigação por grupos temáticos, integrando-os posteriormente em uma base consolidada.

Essa segunda edição do levantamento contou com novos esforços de desenvolvimento metodológico, incluindo a aplicação de ferramentas de processamento de grandes volumes de dados em nuvem, e reflete o estado da arte do que se pode extrair de informações de sensoriamento remoto para caracterização da irrigação em cana-de-açúcar. Neste trabalho, além de permitir a constatação de causa-efeito sobre os canaviais, a deficiência hídrica calculada também foi fundamental no processo de associação das classes de cana aos diferentes tipos de irrigação. A deficiência hídrica das últimas safras - mais acentuada que a média histórica - permitiu um maior realce das áreas irrigadas em relação a canaviais próximos não irrigados, facilitando o mapeamento. Por outro lado, áreas equipadas para irrigação plena podem ter se adaptado à irrigação com déficit neste período, e áreas de déficit ao salvamento, devido à menor disponibilidade hídrica nos mananciais.

As duas grandes regiões que concentram o cultivo da cana (Centro-Sul e Norte-Nordeste) se diferenciam por diversos aspectos, dentre eles a disponibilidade hídrica para o cultivo, que é significativamente menor no Norte-Nordeste onde a irrigação é necessária e se faz mais presente. No Centro-Sul, onde se concentra cerca de 90% da produção de cana, as chuvas e sua distribuição favorecem o bom desenvolvimento dos canaviais, que recebem importante suplementação de nutrientes por meio da fertirrigação, especialmente no período mais seco quando ocorre o corte.

Portanto, em termos de aplicação de água nos canaviais, a irrigação consorciada com a fertirrigação é mais relevante no Norte-Nordeste, sendo adotada em 38,5% dos canaviais da região. No Centro-Sul, a irrigação ocorre em apenas 2,9% dos canaviais e a fertirrigação, por outro lado, ocorre em 29,1% da área cultivada.

Durante a condução do estudo buscou-se uma aproximação com o setor sucroenergético, a fim de dar sustentabilidade aos resultados alcançados. Cerca de 30 unidades sucroenergéticas receberam a equipe do estudo presencialmente ou responderam os questionários enviados por intermédio da União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA). As associações de plantadores e fornecedores de cana no Nordeste também forneceram informações e contatos relevantes para o desenvolvimento deste estudo.

Os resultados obtidos foram confrontados com informações obtidas em campo e em reuniões técnicas sobre irrigação e fertirrigação junto ao setor sucroenergético, além de bases de dados do Censo Agropecuário do IBGE de 2017, de outorgas federais e estaduais de uso da água, de dados de consumo de energia na tarifa verde e dos planos de aplicação de vinhaça entregues pelas usinas à CETESB. Dentro do que foi possível utilizar essas bases de dados, os resultados se mostraram coerentes. Canaviais com irrigação mal manejada ou que receberam lâminas muito baixas de irrigação, contudo, dificilmente são contabilizados nesta metodologia, por não apresentarem diferenciação mensurável de desenvolvimento vegetativo em relação à cana não irrigada.

Além das dificuldades inerentes a um estudo de elevada complexidade e em escala nacional, o manejo da água na cana apresenta elevado dinamismo, o que pode acarretar em mudanças expressivas dos resultados em diferentes safras. Dentre os fatores que contribuem para esse dinamismo, estão a elevada mobilidade dos equipamentos de irrigação utilizados e a dinâmica de preços e de oferta-demanda entre álcool e açúcar. A safra 2018/19, por exemplo, foi mais "alcooleira" que as anteriores, aumentando a oferta de vinhaça para a fertirrigação em mais de 50 bilhões de litros em relação à média das safras anteriores. Políticas específicas de incentivo, principalmente no âmbito da implementação da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio - Lei nº 13.576/2017), são também importantes vetores de alteração ou intensificação da dinâmica setorial.

A contribuição do setor sucroenergético é crucial para o aprimoramento dos resultados e sua

efetiva aplicação nas tomadas de decisão e no desenvolvimento de políticas públicas. O novo Plano Nacional de Recursos Hídricos, o Plano Nacional de Irrigação e os Planos de Irrigação dos Estados e do Distrito Federal são exemplos de instrumentos legais que devem orientar e otimizar a expansão da agricultura irrigada no território nacional.

Especificamente para a gestão de recursos hídricos, este levantamento é importante para os cálculos de demanda de uso da água e a consequente atualização do balanço hídrico, subsidiando tomadas de decisão e análises de risco com vistas à segurança hídrica do setor sucroenergético e à garantia dos usos múltiplos da água.

As bases de dados e materiais adicionais encontram-se disponíveis no Portal de Metadados da ANA (http://metadados.ana.gov.br) e no Portal do Sistema Nacional de Informações sobre de Recursos Hídricos – SNIRH (www.snirh.gov.br).

Aspersor de um pivô central no município de Igarassu (PE)
Daniel Aguiar / Banco de imagens ANA

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-8210-063-9
9 788582 100639