

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 16 (2)

February 2023

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/16220231651>

Article link: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1651>



Uso de vinhaça concentrada e enriquecida como biofertilizante na cana-de-açúcar: uma revisão

Use of concentrated and enriched vinasse as a biofertilizer in sugarcane: a review

Corresponding author

João Henrique Barbosa da Silva

Universidade Federal da Paraíba

henrique485560@gmail.com

Lucilo José Morais de Almeida

Universidade Federal da Paraíba

Edson de Souza Silva

Universidade Federal da Paraíba

Jonathan Bernardo Barboza

Universidade Federal da Paraíba

Géisa Emanuelle Silva Farias

Universidade Federal da Paraíba

Érico dos Anjos Dantas

Universidade Federal da Paraíba

José Luiz Carneiro da Silva

Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Ricardo Aristides da Silva

Faculdades Nova Esperança

Adilma Maria da Silva

Faculdades Nova Esperança

Igor Eneas Cavalcante

Universidade Federal da Paraíba

Antônio Marcos Azevedo Batista

Universidade Estadual de Maringá

Antônio Veimar da Silva

Universidade Federal da Paraíba

Laura Cristina Mota Toledo

Universidade Federal da Paraíba

Resumo. A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma cultura que apresenta grande importância socioeconômica a nível nacional e global. A vinhaça é um resíduo orgânico gerado por meio do processo industrial que transforma a cana-de-açúcar em etanol, sendo utilizada como biofertilizante de forma parcial ou total. Contudo, visto o

alto custo de distribuição e aplicação de vinhaça, muitas empresas que produzem etanol estão minimizando o volume de água por meio da evaporação, gerando assim a vinhaça concentrada, que com as novas tecnologias pelas indústrias sucroenergéticas, tem-se enriquecido a vinhaça com nutrientes essenciais para a fertilização da cultura. Diante desse contexto, o trabalho teve como objetivo demonstrar as recentes descobertas a respeito da utilização de vinhaça concentrada e enriquecida como biofertilizante e seus respectivos efeitos sob a cana-de-açúcar. A vinhaça apresenta cerca de 93% equivalente a água e 7% de sólidos, podendo atuar como biofertilizante por meio da fertirrigação, de modo a beneficiar toda a estrutura do solo. No entanto, visto o elevado custo de distribuição e aplicação desse produto, as empresas produtoras estão diminuindo esse volume através da evaporação, aumentando por consequência os teores de potássio, além enriquecerem esse produto com nutrientes essenciais, de modo a realizar uma adubação mais completa e de maior aproveitamento. Assim, a utilização de vinhaça concentrada e enriquecida é uma inovação que sem sendo empregada de maneira constante, oferecendo um produto puro e rico em macronutrientes e micronutrientes para a cana-de-açúcar, tornando-se necessário novas pesquisas.

Palavras-chaves Fertirrigação, Resíduo orgânico, *Saccharum officinarum* L.

Abstract. Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) is a crop that has great socioeconomic importance at national and global levels. Vinasse is an organic residue generated through the industrial process that transforms sugarcane into ethanol, being used as a partial or total biofertilizer. However, given the high cost of distribution and application of vinasse, many companies that produce ethanol are minimizing the volume of water through evaporation, thus generating concentrated vinasse, which, with new technologies by the sugar-energy industries, has enriched the vinasse with essential nutrients for crop fertilization. In this context, the objective of this work was to demonstrate the recent discoveries regarding the use of concentrated and enriched vinasse as a biofertilizer and its respective effects on sugarcane. Vinasse has about 93% water equivalent and 7% solids, and can act as a biofertilizer through fertigation, in order to benefit the entire soil structure. However, given the high cost of distribution and application of this product, producing companies are reducing this volume through evaporation, consequently increasing potassium levels, in addition to enriching this product with essential nutrients, in order to carry out a more complete and of greater use. Thus, the use of concentrated and enriched vinasse is an innovation that is not being used constantly, offering a pure product rich in macronutrients and micronutrients for sugarcane, making further research necessary.

Keywords: Fertigation, Organic waste, *Saccharum officinarum* L.

Contextualização e Análise

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), é uma cultura de elevado destaque socioeconômico no Brasil, sendo cultivada desde a época da colonização. Visto a alta valorização do etanol no mercado, a produção brasileira de cana-de-açúcar apresentou um forte aumento, exprimindo na safra 2020/21 valores em 654,8 milhões de toneladas dessa matéria prima, gerando 41,25 milhões de toneladas de açúcar e 32,8 bilhões de litros de etanol (Serafim et al., 2021). Ainda segundo os autores, na mesma safra, foram alcançados valores expressivos de resíduos orgânicos, chegando a 143 milhões de toneladas de bagaço, 110 milhões de toneladas de palha, 6,3 milhões de toneladas de cinzas, 23 milhões de toneladas de torta de filtro e 426 bilhões de litros de vinhaça.

A vinhaça, por sua vez, é um resíduo orgânico gerado através do processo industrial que transforma a cana-de-açúcar em etanol, apresentando em sua composição nutrientes como o potássio, fósforo e nitrogênio, sendo empregada como biofertilizantes de forma parcial ou total, podendo ainda ser utilizada de forma a minimizar o consumo de água pela cultura (Wheeler et al., 2021; Hoarau et al., 2018). No entanto, essa prática apresenta algumas limitações quando utilizada de forma inadequada, como salinização e acidificação do solo, que podem diminuir a germinação e consequentemente afetar no stand inicial do talhão (Sánchez et al., 2021), visto a presença da amônia e de metais tóxicos como o Al, Fe, Cu, Cr, Ni, Pb e Zn (Soto et al., 2017).

Visto que parte dos nutrientes presentes na vinhaça se encontram na forma orgânica, é essencial sua mineralização antes de serem disponíveis para

a cultura (Fuess et al., 2017). Entretanto, devido ao elevado custo de distribuição e aplicação de vinhaça, muitas indústrias sucroenergéticas que produzem etanol estão diminuindo o volume de água através da evaporação, gerando assim a vinhaça concentrada, o que permite uma maior eficiência e qualidade na distribuição nas faixas ao solo junto à linha de plantio da cana-de-açúcar, diferentemente de sua aplicação em área total que é utilizada de forma comum pelas usinas, conhecida como vinhaça “in natura”.

Com as novas tecnologias empregadas pelo setor sucroenergético, tem-se o uso do enriquecimento da vinhaça concentrada com os nutrientes essenciais para a fertilização da cana-de-açúcar, de maneira a diminuir os custos com a compra de fertilizantes químicos sintéticos, além de elevar à aplicabilidade do fertilizante, visto a fertilização organomineral de forma líquida ajudar na agregação dos fertilizantes no solo, possivelmente limitando a volatilização de amônia (Otto et al., 2017a). Estudos envolvendo o uso de vinhaça concentrada e enriquecida na cultura da cana-de-açúcar ainda são poucos elucidados, sendo imprescindível uma revisão sob os parâmetros relacionados nessa condição.

Diante desse contexto, o trabalho teve como objetivo demonstrar as recentes descobertas a respeito da utilização de vinhaça concentrada e enriquecida como biofertilizante e seus respectivos efeitos sob a cana-de-açúcar.

A importância da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma gramínea perene pertencente à família das Poaceae, sendo o seu centro de origem localizado no Sul e Sudeste da Ásia tropical (Singh et al., 2015), se espalhando

tempos depois para o resto do mundo, tendo sua chegada às Américas no ano de 1493 (D'Hont et al., 2018), com chegada ao Brasil no início do século XVI, em meados de 1515, sendo uma cultura de alta relevância para à economia a nível nacional. O Brasil é considerado o maior produtor de cana-de-açúcar, seguida de outros grandes países produtores como Índia, China, Paquistão, México, Colômbia, Indonésia, Filipinas e os Estados Unidos (Ajala et al., 2021).

A área plantada com essa cultura, globalmente, supera a marca de 25 milhões de hectares (Pipitpukdee et al., 2020), estando o Brasil com as maiores áreas de cultivo (Wiesberg et al., 2021), com liderança mundial na produção de açúcar e o segundo maior produtor de etanol, ficando apenas atrás dos Estados Unidos (Cursi et al., 2022). Desde meados de 1980, houve um aumento significativo nas áreas cultivadas com essa cultura no Brasil, passando de 4 milhões para 10 milhões de hectares, apresentando assim, um acréscimo de 150% (Cherubin et al., 2021). Ressalta-se que, a cana-de-açúcar contribui com cerca de 80% referente ao total da produção mundial de açúcar, o que gera receitas anuais superiores a US\$ 150 bilhões (Ali et al., 2020).

Além da alta importância a nível mundial pela produção de açúcar e etanol, a cana-de-açúcar apresenta diversas outras finalidades, como por exemplo os subprodutos gerados no processamento da matéria-prima, que podem ser citados o melaço (Walter et al., 2014; Dias et al., 2021), bagaço (Chunhawong et al., 2018) e a torta de filtro (Silva et al., 2021), além de doces, geleias, rapadura e ser altamente utilizada na alimentação animal por meio da forragem (Bellé et al., 2014). Dessa forma, é necessários estudos voltados para essa cultura, de modo a viabilizar seu cultivo e incrementar sua produtividade, visto sua alta importância no tocante econômico, social e ambiental para o Brasil e para o mundo (Ferraz et al., 2015).

Dentre as regiões produtoras de cana-de-açúcar no país, a região Sudeste se destaca, representando cerca de 5,01 milhões de hectares, produção de 373 milhões de toneladas e uma produtividade que chega a 74,5 toneladas por hectare, sendo o estado de São Paulo o maior produtor dessa região, com área de plantação que chega a ser superior à 50% da área nacional de cultivo, gerando uma produção anual de 301 milhões de toneladas e produtividade média que varia em torno de 73 toneladas por hectare (CONAB, 2022). Assim, o setor sucroenergético brasileiro se destaca por apresentar um forte dinamismo do agronegócio nacional, de modo a desempenhar um importante papel para a economia (Andrade Pessoa et al., 2021).

Contudo, a cana-de-açúcar é uma cultura altamente impactada pelas condições climáticas de regiões produtoras que apresentam baixos índices pluviométricos, o que provoca uma diminuição no seu rendimento e na qualidade das próximas safras, além de outros fatores de produção, como

destaque, pode se citar a variedade empregada, práticas culturais, controle de pragas e doenças e a própria colheita do vegetal (Marafon, 2011). Não obstante, quando cultivada em ambientes propícios e com as condições ideais, essa cultura consegue obter bons resultados, gerando um bom rendimento e qualidade na safra de 2021/22. Assim, para garantir esse resultado, é necessário o planejamento e monitoramento de todas as atividades vinculadas no ciclo da cana-de-açúcar (Arcoverde et al., 2019).

Essa cultura apresenta em média cinco cortes com um bom potencial de produção, durante todo o seu ciclo, sendo o primeiro ciclo denominado de “cana planta”, o segundo ciclo “cana soca” e o terceiro, quarto e quinto ciclo denominado de “ressoca”. Com isso, quando o canavial se encontra de forma bem manejado, a tendência de percorrer por mais tempo a sua longevidade se torna maior, contudo, apresentando limitações quanto a produção a depender das condições climáticas e físicas da área, e também do manejo, sendo o ideal a prática de reforma do canavial (Ageitec, 2021).

Com base no explanado e sendo notório a importância da cana-de-açúcar para o país, pesquisas direcionadas a essa cultura são de alta relevância para o setor canavieiro, visto sua alta aceitação no mercado e elevado potencial de comercialização, fato esse que justifica as indústrias produtoras de cana inovarem algumas práticas de cultivo com o intuito de obter um rápido e eficiente resultado, como é o caso da vinhaça concentrada e enriquecida.

Uso de vinhaça “in natura” como biofertilizante na cana-de-açúcar

Estudos envolvendo o uso de vinhaça “in natura” na cana-de-açúcar já demonstram a sua viabilidade de utilização como adubo, visto ser rico em potássio (K) e fornecer outros macronutrientes como o cálcio (Ca), magnésio (Mg), além também de alguns micronutrientes e elevados níveis de carbono orgânico lábil, que são importantes para o bom desenvolvimento da cultura, modificando um efluente de alta capacidade de poluição em um produto com boas qualidades de ação como biofertilizante (Silva et al., 2019; Santos Rodrigues et al., 2020).

A composição química desse resíduo é variável e decorre de aspectos como a variedade utilizada, fase de colheita da cultura, material fermentado e da atividade de destilação (Mutton et al., 2014), apresentando uma quantidade de água equivalente em 93%, com representatividade de sólidos em 7% (Carrilho et al., 2016). O uso de vinhaça no solo como biofertilizante através da fertirrigação gera diversas vantagens, como aumento do pH, maior atividade da capacidade de troca catiônica e microbiota do solo, o que por sua vez, beneficia toda à estrutura do solo (Prado et al., 2013). A maneira mais simples da vinhaça ser transferida da indústria até os canaviais é através de adutoras, sendo bombeada em seguida por aspersão (Asforama, 2021).

A vinhaça é ainda constituída de constituintes orgânicos, como etanol, ácido láctico, glicerol, glicose, frutose, galactose e sacarose (Moraes Chitolina & Harder, 2021). Entretanto, esses elementos apresentam concentração que sofrem influencia a depender dos métodos empregados no processamento do mosto e seu tipo na produção do etanol (Tonoli, 2017). Assim, pesquisas no tocante ao uso de vinhaça como biofertilizante para o solo e consequentemente para a cultura enfatizam a necessidade de um bom manejo desse subproduto, de forma a melhorar significativamente a absorção de nutrientes pela cana-de-açúcar e ampliar sua produtividade (Moraes Chitolina & Harder, 2021).

Quando utilizada de forma adequada, cerca de 150 m³ ha⁻¹ de vinhaça é equivalente a uma adubação de 61kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 343 kg ha⁻¹ de potássio (K) e 108 kg ha⁻¹ de Cálcio (Ca) (Penatti, 2013). Assim, essa prática consegue gerar claros benefícios à produção da cana-de-açúcar, de forma a fornecer água e nutrientes. Souza et al. (2015), enfatizaram que quando a vinhaça é incorporada ao solo, os microrganismos proporcionam sua transformação em húmus, visto a matéria orgânica presente nesse material ter alta influência nas propriedades química e biológica do solo.

Em estudo realizado por Silva et al. (2014) sob a aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar e seu efeito no solo e na produtividade, observaram potencial de aumento da produtividade de colmos em torno de 10,5 t ha⁻¹ em solos arenosos, proporcionando aumentos significativos de potássio na estrutura do solo. Medina et al. (2021) ao estudarem o uso de vinhaça na produção de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar constataram que a vinhaça propicia um melhor desempenho agrônomo da cultura, além de proporcionar uma maior eficiência do sistema radicular da planta.

Trabalhando com vinhaça via fertirrigação por sistemas de irrigação, Martins; Oliveira (2016), observaram que esse produto supre as necessidades de potássio exigidos pela cana-de-açúcar, além de que torna economicamente viável devido a diminuição dos gastos com fertilizantes químicos. Além disso, pesquisas apontam que a utilização de vinhaça tem elevado o teor de matéria orgânica do solo e diminuindo de forma considerável os impactos negativos nas propriedades físicas do solo (Santos et al., 2017). Assim, a vinhaça que por décadas era vista como um malefício, hoje apresenta valor econômico para as usinas produtoras, especialmente na sua aplicação via fertirrigação.

Souza et al. (2015), utilizando em seu estudo fertirrigação com vinhaça na produção de cana-de-açúcar, observaram resultados promissores na qualidade da matéria prima, além de uma maior produção de colmos. Soto et al. (2017) avaliando o impacto da fertirrigação da cana-de-açúcar por vinhaça in natura nas propriedades

físicas, químicas e hidráulicas do solo, ressaltam que a vinhaça pode ocasionar alterações das propriedades que geram benefícios à cana-de-açúcar, visto seu alto poder fertilizante, gerando resultados promissores na produtividade dos canaviais. Contudo, mais estudos a respeito da vinhaça in natura necessitam ser aprofundados, de forma a possibilitar seu uso com maior segurança, possibilitando sua aplicação com maior eficácia, beneficiando todo o ciclo da cultura.

Dentre as limitações encontradas com o uso contínuo e inseguro da vinhaça, se destacam, o desequilíbrio de nutrientes no solo, lixiviação de metais e aumento da densidade do solo (Moraes Chitolina & Harder, 2021). Tendo em vista o alto custo de distribuição e aplicação, visto as altas quantidades de água que se encontra no resíduo, as usinas produtoras de etanol estão trabalhando na diminuição desse volume por meio da evaporação, o que por consequência aumenta os teores de potássio, dando origem a vinhaça concentrada (ANA, 2009), oferecendo maior precisão às aplicações, o que gera maior benefício a cultura.

De maneira a melhorar a qualidade da vinhaça em relação aos nutrientes e diminuir a quantidade de água presente no material, vem sendo empregado diferentes compostos através da mistura da vinhaça com outros diferentes nutrientes, de forma a realizar uma adubação mais completa e de maior aproveitamento, gerando a vinhaça concentrada e enriquecida (CanaOnline, 2021).

Uso de vinhaça concentrada e enriquecida na cana-de-açúcar

A concentração de vinhaça tem seu primeiro registro datado em 1954, quando a empresa austríaca Vogelbusch introduziram um concentrador que usava evaporadores de forma inclinada tipo termo sifão, em que anos depois, a mesma empresa produziu o evaporador do tipo película fina, em que o seu processo ocorria de tal forma que o líquido que evapora escorresse com alta frequência através das paredes internas dos tubos, propiciando uma redução na ocorrência de incrustações (Silva, 2012), sendo um equipamento utilizado até os dias atuais.

O processo de concentração possibilita a diminuição do volume de água na vinhaça de modo a permitir seu reuso dentro da própria indústria produtora ou para irrigação da cultura (Carrilho et al., 2016). Assim, diferente da prática de fertirrigação in natura de modo tradicional, a vinhaça concentrada é aplicada seguindo as faixas do solo, aliado as linhas de plantio, concedendo maior eficiência e qualidade ao canavial (ANA, 2009).

Como pode ser observado na Tabela 1, após à etapa de concentração da vinhaça, o conteúdo de sólidos e nutrientes minerais presentes nesse subproduto se eleva de forma significativa.

Pesquisas já apontam que o uso de evaporadores de múltiplos efeitos para se obter a vinhaça concentrada tem-se mostrado relevante e viável, de modo a recuperar os compostos orgânicos no processo de concentração de até 60°

Brix, ou seja, dez vezes maior, contudo, mesmo concentrada, a vinhaça não fornece quantidades necessárias de nitrogênio para a cultura, em que a complementação com nutrientes se torna uma alternativa promissora e vantajosa, pois reduz os gastos com fertilizantes minerais bem como com os custos de aplicação, visto ambas as etapas serem realizadas em uma única atividade, tornando a vinhaça enriquecida, utilizadas em regiões próximas ao local de produção (Rossetto & Santiago, 2018).

Tabela 1. Comparativo entre a composição da vinhaça in natura e concentrada¹.

Parâmetros	Vinhaça "in natura"	Vinhaça concentrada
pH (25° C)	3,64 - 4,80	4,2 - 5,3
Sólidos totais (g L ⁻¹)	2 - 7	100 - 200
Sólidos vol. tot. (g L ⁻¹)	4,34	-
DQO (g L ⁻¹)	20,97	13,1 - 27,0
DBO (g L ⁻¹)	13,03	75 - 150
Nitrogênio (mg L ⁻¹)	148 - 1.230	2040 - 22200
Fósforo (mg L ⁻¹)	1 - 190	600 - 2.980
Sulfato (mg L ⁻¹)	1.186	2020 - 1.630
Potássio (mg L ⁻¹)	1.247	3390 - 23300

¹Fonte: Silva (2012); Nogueira et al. (2015).

Alguns poucos estudos já mostram a eficácia da vinhaça concentrada e suas potencialidades para o setor canavieiro, de modo que quando comparada a vinhaça in natura, observa-se uma neutralização da contaminação do lençol freático e viabilização do deslocamento em maiores distâncias, diminuindo o custo de transporte da vinhaça, além de que com a concentração, é possível fornecer água de reuso para o processo, podendo essa água ser empregada na lavagem da própria matéria prima e de equipamentos que são utilizados nas atividades agrícolas (Pinto & Araujo, 2019). Barbosa et al. (2012), aplicando vinhaça concentrada nas doses de 0, 180 e 270 kg ha⁻¹ de potássio, combinando em diferentes doses e formulas de adubos minerais aplicados, constataram um incremento maior de produtividade por área, de modo que não houve alteração nas variáveis tecnológicas do caldo da cana-de-açúcar.

Assim, o uso de vinhaça concentrada e enriquecida é uma inovação que vem sendo utilizada de forma constante por algumas empresas, sendo um marco diferencial aplicado nos canaviais, trazendo um produto puro e enriquecido com macronutrientes e micronutrientes (Sindaçúcar, 2021). O que antes era aplicado uma média de 60m³ por hectare com a vinhaça in natura, com a vinhaça concentrada esse valor é reduzido para 40 m³ sem água, oferecendo uma forma mais eficaz nos cultivos da cana-de-açúcar, diminuindo os custos e aumentando a qualidade do produto final (Gusmão et al., 2017; Sindaçúcar, 2021).

Nesse sentido, a vinhaça concentrada e enriquecida apresenta um alto potencial para tornar-se um excelente insumo para a cultura da cana-de-

açúcar e ainda outros diversos sistemas de produção agrícola (Pinto & Araujo, 2019). Ainda segundo os mesmos autores, ao estudarem o uso de vinhaça concentrada como biofertilizante em *Glycine max*, constataram resultados positivos em relação a substituição parcial ou total da adubação química com potássio, além de aumento no acúmulo de K e N no solo.

Assim, o uso de técnicas que buscam aprimorar de forma mais eficiente a utilização de vinhaça na agricultura, à exemplo da vinhaça concentrada e enriquecida, expressados neste trabalho, nos permite investigar no âmbito econômico a sua viabilidade, auxiliando no aumento da produtividade e melhorando a qualidade da matéria-prima.

Considerações Finais

Entende-se que novas pesquisas no tocante ao uso de vinhaça concentrada e enriquecida na cana-de-açúcar devem ser levadas em consideração. Contudo, os trabalhos apontam que o consumo desse subproduto na agricultura se encontra em crescimento, visto sua alta eficiência aumentando a produtividade e oferecendo uma maior qualidade da matéria-prima.

Referências

- AGEITEC. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. *Árvore do conhecimento, Cana-de-açúcar*. 2021. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeacucar/arvore/CONTAG01_75_22122006154841.html. Acesso em: 10 de agosto de 2022.
- AJALA, E. O.; IGHALO, J. O.; AJALA, M. A.; ADENIYI, A. G.; AYANSHOLA, A. M. Sugarcane bagasse: a biomass sufficiently applied for improving global energy, environment and economic sustainability. *Bioresources and Bioprocessing*, v. 8, n. 1, p. 1-25, 2021. <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00440-z>
- ALI, A.; KHAN, M.; SHARIF, R.; MUJTABA, M.; GAO, S. J. Sugarcane Omics: An update on the current status of research and crop improvement. *Plants*, v. 8, n. 9, p. 344, 2019. <https://doi.org/10.3390/plants8090344>
- ANA. Agência Nacional De Águas. Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética. 2009. Acessado em 23/09/2021. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/manualde-conservacao-e-reuso-de-agua-na-agroindustria-sucroenergetica>. Acesso em: 11 de agosto de 2022.
- ANDRADE PESSOA, G. G. F.; ALVES, A. K. S.; ANJOS DANTAS, É.; ALMEIDA, L. J. M.; ANDRADE SILVA, J.; ARAÚJO, J. R. E. S.; SILVA, D. A. M.; OLIVEIRA SANTOS, J. P. Dinâmica temporal da produção de cana-de-açúcar em um município do Brejo Paraibano, Brasil (1995–2019). *Scientific Electronic Archives*, v. 14, n. 11, 2021. <https://doi.org/10.36560/141120211451>
- ARCOVERDE, S. N. S.; SOUZA, C. M. A.; ORLANDO, R. C.; SILVA, M. M.; NASCIMENTO, J. M. Crescimento inicial de cultivares de cana-de-açúcar em plantio de inverno sob preparos conservacionistas do solo. *Revista*

- Engenharia na Agricultura, v. 27, n. 2, p. 142-156, 2019. <https://doi.org/10.13083/reveng.v27i2.803>
- ASFORAMA. Vantagens da aplicação localizada de vinhaça concentrada. 2021. Disponível em: <https://www.asforama.com.br/noticia/vantagens-da-aplicacao-localizada-de-vinhaca-concentrada>. Acesso em: 11 de agosto de 2022.
- BARBOSA, E. A.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R.; SILVA, T. J.; SAKAI, E. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: ciclo da cana-planta. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, p. 952-958, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000900005>
- BELLÉ, C.; KULCZYNSKI, S. M.; GOMES, C. B.; KUHN, P. R. Fitonematoides associados à cultura da cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul, Brasil. Nematropica, v. 44, n. 2, p. 207-217, 2014.
- CANAONLINE. Vantagens da aplicação localizada de vinhaça concentrada. 2021. Disponível em: <http://www.canaonline.com.br/conteudo/vantagens-da-aplicacao-localizada-de-vinhaca-concentrada.html>. Acesso em: 13 de agosto de 2022.
- CARRILHO, E. N. V. M.; LABUTO, G.; KAMOGAWA, M. Y. Destination of vinasse, a residue from alcohol industry: Resource recovery and prevention of pollution. In: Environmental materials and waste. Academic Press, p. 21-43, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803837-6.00002-0>
- CHERUBIN, M. R.; CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; NOGUEIRA, L. A. H.; SOUZA, G. M.; CANTARELLA, H. Land use and management effects on sustainable sugarcane-derived bioenergy. Land, v. 10, n. 1, p. 72, 2021. <https://doi.org/10.3390/land10010072>
- CHUNHAWONG, K.; CHAISAN, T.; RUNGMEKARAT, S.; KHOTAVIVATTANA, S. Sugar industry and utilization of its by-products in Thailand: an overview. Sugar Tech, v. 20, n. 2, p. 111-115, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0599-x>
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar. Primeiro levantamento. Brasília: v.9 – safra 2022/23, nº1, 2022.
- CURSI, D. E.; HOFFMANN, H. P.; BARBOSA, G. V. S.; BRESSIANI, J. A.; GAZAFFI, R.; CHAPOLA, R. G. History and current status of sugarcane breeding, germplasm development and molecular genetics in Brazil. Sugar Tech, 24, p. 112-133, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12355-021-00951-1>
- D'HONT, A.; SOUZA, G. M.; MENOSSI, M.; VINCENTZ, M.; VAN-SLUYS, M. A.; GLASZMANN, J. C.; ULIAN, E. Sugarcane: a major source of sweetness, alcohol, and bio-energy. In: Genomics of tropical crop plants. Springer, New York, NY, 2008. p. 483-513. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71219-2_21
- DIAS, M. S.; CARTAXO, P. H. A.; SILVA, F. A.; FREITAS, A. B. T. M.; SANTOS, R. H. S.; DANTAS, E. A.; MAGALHÃES, J. V. A.; SILVA, I. J.; ARAUJO, J. R. E. S.; SANTOS, J. P. O. Dinâmica produtiva da cultura da cana-de-açúcar em um município da zona da mata alagoana. Scientific Electronic Archives, v. 14, n. 5, p. 22-28, 2021. <https://doi.org/10.36560/14520211276>
- FERRAZ, R. L. S.; BARBOSA, M. A.; BATISTA, J. L.; MAGALHÃES, I. D.; DANTAS, G. F.; FRANCO, F. O. Calagem em cana-de-açúcar: efeitos no solo, planta e reflexos na produção. InterfacEHS, v. 10, n. 1, p. 166-177, 2015.
- FUESS, L. T.; RODRIGUES, I. J.; GARCIA, M. L. Fertirrigation with sugarcane vinasse: Foreseeing potential impacts on soil and water resources through vinasse characterization. Journal of Environmental Science and Health, v. 52, n. 11, p. 1063-1072, 2017. <https://doi.org/10.1080/10934529.2017.1338892>
- GUSMÃO, S. F. A.; SATO, S. S.; BERTOLLI, S. C. A viabilidade dos custos de utilização da vinhaça no cultivo de cana-de-açúcar. Colloquium Socialis, Presidente Prudente, v.1, n.2, p.539-543, 2017.
- HOARAU, J.; CARO, Y.; GRONDIN, I.; PETIT, T. Toward a status shift from waste to valuable resource. A review. Journal of water process engineering, v. 24, p. 11-25, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.05.003>
- MARAFON, A. C. Adubação silicatada em cana-de-açúcar. Embrapa Tabuleiros Costeiros-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E), 2011. 50p.
- MARTINS, Y. A.; OLIVEIRA, C. F. Uso da vinhaça via fertirrigação por sistemas de irrigação. Jornada Acadêmica-Ciência, Inovação e Tecnologia no Bioma Cerrado, v. 5, 2016.
- MEDINA, E. C.; SANTO FRANCO, E. S. D. E.; PACHECO, A. B.; NOGUEIRA, K. B. Reuso da vinhaça na produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Revista brasileira de agricultura irrigada, v.14, n. 4, p. 4154-4161, 2021. <https://doi.org/10.7127/rbai.v14n401187>
- MORAES CHITOLINA, G.; HARDER, M. N. C. Avaliação da viabilidade do uso de vinhaça como adubo. Bioenergia em Revista: Diálogos, v. 10, n. 2, p. 08-24, 2021.
- MUTTON, M. A.; ROSSETTO, R.; MUTTON, M. J. R. Agricultural use of stillage. Sugarcane bioethanol – R&D for Productivity and Sustainability, p. 423-440, 2014.
- NOGUEIRA, C. E. C.; SOUZA, S. N. M.; MICUANSKI, V. C.; AZEVEDO, R. L. Exploring possibilities of energy insertion from vinasse biogas in the energy matrix of Paraná State, Brazil. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 48, n. 1, p. 300-305, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.023>
- OTTO, R.; FREITAS JÚNIOR, J. C. M.; ZAVASCHI, E.; FARIA, I. K. P.; PAIVA, L. A.; BAZANI, J. H.; MIRA, A. B.; KAMOGAWA, M. Y. Combined application of concentrated vinasse and nitrogen fertilizers in sugarcane: strategies to reduce ammonia volatilization losses. Sugar tech, v. 19, p. 248- 257, 2017a. <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0463-9>
- PENATTI C. P. Adubação da cana-de-açúcar: 30 anos de experiência. 1.ed. Piracicaba. Itui: Ottoni Editora. 2013, 347p.

- PINTO, L. E. V.; ARAUJO, F. F. Uso de vinhaça como biofertilizante: efeito na nodulação, crescimento e acúmulo de nutrientes no cultivo da soja: efeito na nodulação, crescimento e acúmulo de nutrientes. In: *Colloquium Agrariae*, p. 97-109, 2019.
- PIPIITPUKDEE, S.; ATTAVANICH, W.; BEJRANONDA, S. Climate change impacts on sugarcane production in Thailand. *Atmosphere*, v. 11, n. 4, p. 408, 2020. <https://doi.org/10.3390/atmos11040408>
- PRADO, R. D. M.; CAIONE, G.; CAMPOS, C. N. S. Filter cake and vinasse as fertilizers contributing to conservation agriculture. *Applied and Environmental Soil Science*, v. 2013, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/581984>
- ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. Árvore do Conhecimento – Cana-de-açúcar: Adubação – resíduos alternativos. 2018. Ageitec – Embrapa. Brasília – DF. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canade-acucar/arvore/CONTAG01_36_711200516717.html. Acesso em: 13 de agosto de 2022.
- SÁNCHEZ, F. E.; FUSS, L. T.; CAVALCANTE, G. S.; ADORNO, M. Â. T.; ZAIAT, M. Value-added soluble metabolite production from sugarcane vinasse within the carboxylate platform: an application of the anaerobic biorefinery beyond biogas production. *Fuel*, v. 286, p. 119378, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119378>
- SANTOS RODRIGUES, J.; SILVA, P. C.; COSTA, A. R.; GOMES, L. F.; SILVA, F. F.; SOARES, J. A. B.; FERREIRA, J. B. G. Produtividade da cana-de-açúcar com aplicação de água residuária da indústria sucroenergética. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 5, p. e162953167-e162953167, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3167>
- SANTOS, C. H.; CARDIN, C. A.; CRESTE, J. E.; MATIVI, W. L.; MOREIRA, A. C. M.; ESCARMÍNIO, M. A. Propriedades físicas de um argissolo após fertirrigação com vinhaça e sistema de colheita da cana de açúcar. *Colloquium Agrariae*, v. 13, n. 3, p. 58-66, 2017.
- SERAFIM, R. F.; YABUKI, L. N. M.; QUELUZ, J. G. T.; GALDEANO, L. R.; GARCIA, M. L. Efeitos da aplicação de vinhaça na fertilidade do solo. *IRRIGA*, v. 26, n. 2, p. 439-459, 2021. <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v26n2p439-459>
- SILVA, A. P.; BONO, J. A.; PEREIRA, F. D. A. Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, p. 38-43, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100006>
- SILVA, A. Vinhaça concentrada da cana-de-açúcar: monitoramento das propriedades químicas do solo e mineralização líquida do nitrogênio. 2012. 109 p. Tese (Doutorado em Ciências. Área de concentração: Energia na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- SILVA, G. S. P. L.; SILVA, F. C.; ALVES, B. J. R.; TOMAZ, E.; BERTON, R. S.; MARCHIORI, L. F. S.; SILVEIRA, F. G. Efeitos da aplicação de vinhaça "in natura" ou concentrada associado ao N-fertilizante em soqueira de cana-de-açúcar e no ambiente. *Holos Environment*, v. 19, n. 1, p. 1-21, 2018. <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v19i1.12212>
- SILVA, J. H. B.; NASCIMENTO, M. A.; SILVA, A. V.; NETO, F. P.; ARAÚJO, J. R. E. S.; SILVA, J. M.; MIELEZRSKI, F. Brotação inicial, teor de sólidos solúveis e índice de maturação da cana-de-açúcar submetida à adubação com torta de filtro enriquecida. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 3, p. 32575-32592, 2021.
- SINDAÇÚCAR. Utilização de vinhaça enriquecida aumenta produtividade do canavial. 2021. Disponível em: <https://www.sindacucar-al.com.br/app/uploads/2021/11/121121.pdf>. Acesso em: 13 de agosto de 2022.
- SINGH, A.; LAL, U. R.; MUKHTAR, H. M.; SINGH, P. S.; SHAH, G.; DHAWAN, R. K. Phytochemical profile of sugarcane and its potential health aspects. *Pharmacognosy Reviews*, v. 9, n. 17, p. e45, 2015. <https://doi.org/10.4103%2F0973-7847.156340>
- SOTO, M. A.; BASSO, J. B.; KIANG, C. H. Impacto da fertirrigação da cana-de-açúcar por vinhaça nas propriedades físicas, químicas e hidráulicas do solo. In: FONTANETTI, C. S.; BUENO, O. C. (org.). *Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica*. Bauru: Canal 6, p. 103-124, 2017.
- SOUZA, J. K. C.; OLIVEIRA MESQUITA, F.; NETO, J. D.; SOUZA, M. M. A.; AZEVEDO FARIAS, C. H.; MENDES, H. C.; ANDRADE NUNES, R. M. Fertirrigação com vinhaça na produção de cana-de-açúcar. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 11, n. 2, p. 7-12, 2015.
- TONOLI, F. C. Adaptação de leveduras para fermentação com alto teor alcoólico. 2017. p. 77. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola). - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.
- WALTER, A.; GALDOS, M. V.; SCARPARE, F. V.; LEAL, M. R. L. V.; SEABRA, J. E. A.; CUNHA, M. P. Brazilian sugarcane ethanol: developments so far and challenges for the future. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, v. 3, n. 1, p. 70-92, 2014.
- WHEELER, R. M.; CARGIN, J. M. R.; DUTRA, A. R. A.; CUBAS, A. L. V.; MOECKE, E. H. S.; JOÃO, J. J. Potenciais aplicações da vinhaça da cana-de-açúcar visando a produção mais limpa: uma revisão integrativa. *IX ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UFSC – Florianópolis*, p. 316-327, 2021.
- WIESBERG, I. L.; MEDEIROS, J. L.; MELLO, R. V. P.; MAIA, J. G. S.; BASTOS, J. B. V.; QUEIROZ, F. A. O. Bioenergy production from sugarcane bagasse with carbon capture and storage: Surrogate models for techno-economic decisions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 150, p. e111486, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111486>

