

ARTIGO

Desenvolvimento de um software para minimização de custos da adubação orgânica através do algoritmo simplex

Development of a software to minimize the costs of organic fertilization through the simplex algorithm

Alexandre De Donato¹ ; Patrick Augusto Lins de Oliveira Damião² ; Nathan Barbosa Pinto² ; Rosenclever Lopes Gazoni³ 

¹Engenheiro Agrônomo, Instituto Federal do Rio de Janeiro, Campus Pinheiral, Pinheiral, RJ, Brasil.

²Discente, Curso Técnico em Informática, Instituto Federal do Rio de Janeiro, Campus Pinheiral, Pinheiral, RJ, Brasil.

³Docente, Instituto Federal do Rio de Janeiro, Campus Pinheiral, Pinheiral, RJ, Brasil.

RESUMO: Problemas de otimização envolvem a minimização ou maximização de uma função de uma ou mais variáveis num determinado domínio, havendo, via de regra, um conjunto de restrições a estas variáveis. Os algoritmos usados para solucionar tais problemas se pautam na confecção de modelos matemáticos aplicados a diversos fenômenos. O presente trabalho objetivou desenvolver um software para minimizar os custos da composição de um adubo orgânico contendo de duas a dez fontes de adubo orgânico a serem utilizados para suprir as necessidades nutricionais de determinada cultura. Para encontrar a solução do problema por meio da programação linear, o mesmo foi formulado em termos matemáticos, identificando o critério de otimização do problema, representando-o como uma função linear das variáveis de decisão, o qual consistiu na minimização do custo do adubo. O algoritmo do método Simplex contendo 3 equações de restrição (uma para cada nutriente principal, Nitrogênio, Fósforo e Potássio) e a função objetivo foi inserido no programa em código Javascript para criar uma série de inequações respeitando todas as restrições informadas, de modo a obter a composição que fornecesse o custo mínimo e atendesse às necessidades nutricionais requeridas. O software desenvolvido obteve sucesso na minimização dos custos da adubação orgânica entretanto, é importante lembrar que os teores de macronutrientes destes adubos, bem como seus custos, são variáveis, podendo uma mesma cultura ter composições e custos ótimos distintos, em razão das demais condições.

Palavras-chave: otimização, custos, adubação orgânica.

ABSTRACT: Optimization problems involve minimizing or maximizing a function of one or more variables in a given domain, with, as a rule, a set of restrictions on these variables. The algorithms used to solve such problems are based on the creation of mathematical models applied to different phenomena. This work aimed to develop software to minimize

the costs of composing an organic fertilizer containing from two to ten sources of organic fertilizer to be used to meet the nutritional needs of certain crops. To find the solution to the problem through linear programming, it was formulated in mathematical terms, identifying the optimization criterion of the problem, representing it as a linear function of the decision variables, which consisted of minimizing the cost of fertilizer. The Simplex method algorithm containing 3 restriction equations (corresponding to each main nutrient, Nitrogen, Phosphor and Potassium) and the objective function was inserted in the program in Javascript code to create a series of inequalities respecting all informed restrictions, in order to obtain the composition that provided the minimum cost and met the required nutritional demands. The developed software was successful in minimizing the costs of organic fertilization, however, it is important to remember that the macronutrient contents of these fertilizers, as well as their costs, are variable, and the same crop may have different optimal compositions and costs, due to other conditions.

Keywords: optimization, costs, organic fertilization.

INTRODUÇÃO

A Pesquisa Operacional é uma área científica inexoravelmente interdisciplinar que é composta por um conjunto de métodos matemáticos e estatísticos que visam dar suporte ao processo de tomada de decisão. Pode ser aplicada a diversas áreas, dentre as quais podemos citar a produção e logística de: alimentos, automóveis, aviões, computadores, produtos eletrônicos, metalurgia, mineração, armas, móveis, papel, petróleo, telecomunicações, transporte, além das organizações de serviços como: Bancos, seguradoras, hospitais, bibliotecas, sistemas judiciais, agências de viagem e turismo, energia, esportes, trânsito, ministério da defesa (Arenales, 2009).

A aplicação de técnicas de Pesquisa Operacional na agricultura pode contribuir para a otimização da utilização de recursos naturais, uma vez que esta gera cenários mais palpáveis em ambientes com diversas variáveis, tornando o processo decisório mais robusto e válido (Oliveira, 2022).

O crescimento da aplicação da Pesquisa Operacional à Agricultura é notável, e pode ser estimado por meio da mensuração de buscas pelas palavras “Pesquisa Operacional” e “Agricultura” no Google Acadêmico, entre os anos de 2000 a 2010 e de 2011 a 2023. No primeiro período mencionado, o total de artigos com estes termos foi igual a 1390 artigos (média de 126,36 artigos por ano), enquanto que no período seguinte foram encontrados 4530 artigos contendo estes termos (média de 323,57 artigos por ano), o que significa que a média anual de artigos entre os dois períodos aumentou em mais de 156%. Do mesmo modo, ao buscarmos artigos contendo os

termos “Software” “Otimização” “Agricultura” no mesmo site, nos mesmos períodos anteriormente citados, encontramos um total de, respectivamente, 13100 e 16600. Estes números indicam que a importância dos processos de otimização, no âmbito da agricultura, tem sido cada vez mais reconhecida.

Métodos de produção agrícola mais eficientes têm sido muito discutidos, dentre estes, podemos citar o desenvolvimento de softwares para a área agrícola, cuja utilização tem se acentuado nos últimos anos. Suas principais aplicações são o aumento do rendimento e/ou precisão de cálculos visando à diminuição de custos e/ou o aumento da produção (Donato *et al.*, 2021).

No presente contexto, Silva *et al.* (2018) relata de modo sucinto e claro, todos os benefícios que a tecnologia pode proporcionar ao setor agropecuário:

“A tecnologia encontrou um terreno fértil no agronegócio brasileiro. Já começa a mudar os resultados de safras, diminuir as perdas, dar precisão à agricultura, aumentar a produção leiteira, rastrear o comércio de carne [...]. O setor é impulsionado pela Internet das Coisas, inteligência artificial, drones, edição genômica, big data, algoritmos. E deve crescer ainda mais quando a conectividade for ampliada por todo o país.”

Contudo, o crescimento da aplicação tecnológica no setor agrário brasileiro resulta em uma aumento de produtividade que, sem a utilização adequada de recursos naturais, pode causar grandes impactos no meio ambiente, como a degradação da fauna e flora em função do uso desequilibrado de matérias-primas. Por esta razão, é imprescindível que seja incentivado o uso de métodos que contenham a integração de tecnologia e sustentabilidade (Silva; Cavichioli, 2020).

Apesar de muitos agricultores não terem acesso às novas tecnologias do agronegócio, e toda a incerteza que este mercado traz, ainda assim, o Brasil é reconhecido por liderar o ranking mundial na produtividade agrícola, devido a todas as ferramentas já existentes. Entretanto, o incentivo do uso de agriculturas mais sustentáveis ligadas à softwares de otimização, pode contribuir para uma maior qualidade desta produção, devido à dissociação com as heranças da Revolução Verde e seus pilares, assim, ligando todas as vertentes da sustentabilidade: os pilares econômico, social, e ambiental (Dos Santos *et al.*, 2019).

Os nutrientes requeridos pelas espécies vegetais podem ser divididos em: macronutrientes (mais requeridos, cuja necessidade se dá na ordem de kg por hectare); e micronutrientes (menos requeridos, cuja necessidade se dá na ordem de gramas por

hectare). Dentre os micronutrientes, os principais exemplos são: Ferro, Zinco, Boro, Manganês e Cobalto, e como macronutrientes o Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Enxofre (S), Cálcio (Ca) e Magnésio. Todos são necessários à produção vegetal, pois sem qualquer um deles as plantas não conseguem completar o seu ciclo de vida. Contudo, o software desenvolvido teve foco exclusivo nos nutrientes N, P e K em razão de sua maior necessidade e importância, e porque os demais macronutrientes e micronutrientes costumam estar presentes em adubos orgânicos de maneira ajustada às necessidades vegetais. Em função da heterogeneidade da composição de adubos orgânicos, o ideal seria realizar exames de laboratório para determinar o teor de N, P e K em diferentes adubos orgânicos, ainda que sejam provenientes da mesma espécie animal, pois isso torna o resultado da aplicação do software (algoritmo) mais preciso (Donato *et al.*, 2021).

No decorrer dos últimos dois anos, softwares que utilizam de sistemas operacionais de pesquisa têm sido cada vez mais utilizados em diversas áreas, tais como:

- Produção agropecuária (Carvalho, 2020; Melges, 2020; Donato *et al.*, 2021; Barella *et al.*, 2020; Pinheiro, 2020)
- Planejamento de produção de ovos de páscoa (Isabel *et al.*, 2021)
- Avaliação das emissões de CO₂ no transporte do etanol (Branco *et al.*, 2020)
- Otimização para descarga de contêineres de importação (Longaray *et al.*, 2021)
- Estratégia e logística da distribuição de insumos e problemas de corte de estoque (Pereira *et al.*, 2021; Rios & Poldi, 2020; Garcia & Ortiz, 2020; Virgens *et al.*, 2021)
- Avaliação do impacto das secas no Nordeste (Villar *et al.*, 2020)
- Tomada de decisão em uma indústria do setor de produção vestuária (Bortoluzzi *et al.*, 2021)
- Crescimento econômico e alteração ambiental (Castelão *et al.*, 2020)
- Sustentabilidade na Reciclagem e no uso da água (Amoroso, 2020)
- Mapeamentos de deslizamentos de terra e inundações (Rodrigues, 2020)
- Estudo da montagem de tratores (Rosa & Bueno, 2020)
- Análise da vulnerabilidade do solo (Fiorese, 2021)

METODOLOGIA

O algoritmo do método Simplex contendo 3 equações de restrição (quantidade mínima necessária dos nutrientes N, P e K) e a função objetivo (minimizar o produto do preço de cada adubo multiplicado pela sua respectiva quantidade variável) foi inserido no programa em código Javascript para criar uma série de inequações respeitando todas as restrições informadas, de modo a obter a composição que proporciona a minimização de todos os coeficientes até que se chegue, após algumas iterações no resultado, ao menor gasto possível mas que ainda atenda a todas as necessidades nutricionais (kg do nutriente por hectare) informada pelo usuário do software.

O software foi criado com base no Solver do Excel e com o objetivo de trazer o uso da programação linear para o usuário, mas sem exigir conhecimento prévio das ferramentas ou cálculos. Por meio da entrada de dados do usuário com base nas necessidades de sua cultura e dos adubos disponíveis, incluindo seus respectivos preços e nutrientes, o software efetua a minimização de custo enquanto respeitando a quantidade apropriada de nutrientes, considerando que todo o nutriente contido no adubo estará disponível para a cultura em questão.

Qualquer usuário que disponha da composição nutricional dos seus adubos, seus respectivos preços e as necessidades nutricionais de N, P e K a serem supridas, consegue obter o resultado ótimo (com o menor custo desde que atendendo às necessidades informadas) mesmo que não saiba formular as equações de restrição e a função objetivo. A primeira e segunda páginas de interação do software seguem na Figura 1.

Figura 1. Primeira (A) e segunda (B) páginas de interação do software com o usuário

É possível informar o preço de até 10 adubos para comparação simultânea e devem ser preenchidos: o nome, o preço (em reais por tonelada) e a quantidade de nutrientes (por tonelada). Na segunda página de interação com o usuário, devem ser

informadas quais necessidades nutricionais a serem atendidas, conforme demonstrado na figura 2.

Após preencher todos os adubos, deve ser informada a necessidade de nutrientes por hectare da cultura em questão e aguardar o resultado. Só é possível preencher as necessidades nutricionais por hectare enquanto o adubo selecionado for o primeiro.

Para formular um exemplo completo, segue abaixo uma série de dados fictícios meramente ilustrativos, respectivamente, nas figuras 2 e 3, as quais representam os adubos 1 e 2 e as necessidades nutricionais a serem alcançadas:

Figure 2 consists of two side-by-side screenshots of a software interface, labeled (A) and (B). Both screenshots have a light green background. Screenshot (A) is for 'Adubo 1'. It has a title 'Nome do Adubo:' followed by a text input field containing 'Adubo 1'. Below this are four rows, each with a label and a text input field: 'Preço por Tonelada (R\$):' with '100', 'Nitrogênio por Tonelada:' with '9', 'Fósforo por Tonelada:' with '9', and 'Potássio por Tonelada:' with '1'. At the bottom are three buttons: 'Voltar', 'Remover', and 'Avançar'. Screenshot (B) is for 'Adubo 2'. It has a title 'Nome do Adubo:' followed by a text input field containing 'Adubo 2'. Below this are four rows, each with a label and a text input field: 'Preço por Tonelada (R\$):' with '100', 'Nitrogênio por Tonelada:' with '1', 'Fósforo por Tonelada:' with '1', and 'Potássio por Tonelada:' with '9'. At the bottom are three buttons: 'Voltar', 'Remover', and 'Avançar'.

Figura 2. Adubo hipotético denominado de “adubo 1” (A) e “adubo 2” (B)

Figure 3 is a screenshot of a software interface titled 'Necessidades nutricionais por hectare'. It has a light green background. There are three rows, each with a label and a text input field: 'N:' with '10', 'P:' with '10', and 'K:' with '10'.

Figura 3. Necessidades nutricionais hipotéticas a serem alcançadas.

Após o usuário informar todos os dados solicitados conforme ilustrado nas figuras 1, 2 e 3, basta clicar no botão resolver e a composição do adubo misto a ser aplicado (caso se chegue à conclusão que a adubação mais econômica deve usar duas ou mais fontes de adubos, e não uma) será calculada e seu resultado aparecerá conforme a figura 4.

Resultado

O resultado foi:

Custo: R\$200

Adubo Adubo1 : 1 toneladas.

Adubo Adubo2 : 1 toneladas.

Figura 4. Resultado final do software minimizador de custos.

O programa utiliza do método Simplex para atingir os resultados, criando uma série de inequações respeitando todas as restrições informadas onde ocorrerá uma minimização de todos os coeficientes até que se chegue ao longo de algumas iterações no resultado com o menor gasto possível, mas que ainda cumpra todas as necessidades nutricionais do adubo informado.

O problema apresentado nessa pesquisa é conhecido na literatura como “problema da dieta” apresentando a estrutura a seguir, através das equações 1, 2 e 3:

$$\min Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

Com

$$x_j \geq 0 (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

Uma vez estruturado o problema e modelado matematicamente, a solução do mesmo pode ser obtida por meio do Método Simplex. Segundo Barbosa e Zanardini (2014), o método simplex é uma importante ferramenta destinada a resolver problemas de Programação Linear. O método consiste em buscar, caso existam, uma ou mais soluções, partindo-se de uma solução básica factível, gerando uma sequência de soluções factíveis. Se a sequência é completa, a solução ótima é obtida.

O algoritmo Simplex é uma ferramenta de Pesquisa Operacional que trabalha os problemas de modo iterativo. Ele parte de uma solução básica factível inicial (SBFI) e busca, por meio de interações, novas soluções básicas factíveis (SBF), que por sua vez, são chamadas de SBF adjacentes (SBFA). As interações dadas pelas SBFA são feitas até que o valor ótimo seja atingido. Esquemáticamente, o algoritmo Simplex pode ser descrito conforme o Quadro 1, a seguir.

Quadro. 1: Descrição do algoritmo Simplex.

Início: O problema deve estar na forma padrão.

Passo 1: Encontrar uma SBF inicial para o problema de PL.

SBF inicial = SBF atual

Passo 2: Verificar se a SBF atual é a solução ótima do problema de PL.

Enquanto a SBF atual não é a solução ótima do problema de PL **faça**

 Encontrar uma SBF adjacente com melhor valor na função objetivo

 SBF adjacente = SBF atual

Fim enquanto

Fonte: Belfiore e Fávero (2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diversos artigos acadêmicos acerca do tema adubação orgânica relacionado a softwares ou ao processo de otimização e/ou programação linear e/ou método simplex foram consultados em diversas bases de pesquisa. Além disso, foram consultadas bases de dados de patentes, como a Patentscope, o WIPO (*World Intellectual Property Organization*) e o Google Patentes, com palavras-chave relacionadas a otimização de processos na adubação orgânica efetuada por softwares. Entretanto, não foram encontrados relatos de softwares desenvolvidos com a finalidade de otimizar (minimizar) os custos de adubações orgânicas usando duas ou mais fontes de adubos orgânicos.

A análise dos solos agrícolas pode ser efetuada com o uso de sistemas operacionais. Considerando a importância do solo para a agricultura, e o aumento dos processos erosivos provocado por práticas agrícolas incorretas, a adubação orgânica é um exemplo de prática que pode ser efetuada para um uso mais consciente do solo (Fiorese, 2021).

Visto que o uso de ferramentas da pesquisa operacional, como por exemplo, a programação linear, auxiliam o agricultor na otimização de ganhos e custos, de forma fácil e prática, ela pode ser empregada em diversos setores, tanto por grandes empresas quanto

por pequenos agricultores, devido à sua capacidade de otimizar e aumentar a precisão das atividades produtivas em um curto espaço de tempo. (Almeida *et al.*, 2013).

Da Silva *et al.* (2018) utilizou o software Excel para otimizar (maximizar) a receita de um pequeno produtor de hortaliças do Mato Grosso do Sul. As variáveis de decisão inseridas dentro do algoritmo Simplex foram a quantidade de cada um dos três tipos de hortaliças que deveriam ser cultivadas, enquanto a função objetivo era a receita obtida com a quantidade, em unidades, de todas as hortaliças produzidas, sendo as equações de restrição o respectivo custo de produção de cada uma delas, gerando como resultado a quantidade ótima de cada uma delas a ser produzida para obter a receita máxima. Desta forma, fica evidente o quanto a aplicação de modelos matemáticos nos processos decisórios dos sistemas produtivos agrícolas pode contribuir para a sua eficiência.

Um caso da otimização do campo que trouxe resultados foi o uso da ferramenta Solver do Excel da Microsoft, no cálculo da receita máxima de um pequeno produtor de hortaliças do Mato Grosso do Sul. Sendo utilizado um modelo matemático, com o método Simplex presente, para calcular as restrições e necessidades do agricultor, a fim de criar estratégias melhores. Tendo como resultado a receita máxima e a informação de que investimentos feitos no plantio não ajudariam na receita, sendo a área do plantio o problema a ser resolvido (Da Silva *et al.*, 2018).

Sartorello (2021) escreveu uma tese sobre economia em sistemas integrados de produção (produção agrícola, pecuária e florestal em conjunto), utilizando dados da experiência no campo como parâmetro para a ferramenta de simulação Anylogic. O modelo híbrido de simulação foi usado com o objetivo de avaliar esses sistemas durante nove anos, e com o fim da experiência os resultados mostraram que não haveria qualquer alteração no desempenho dos animais, independente das estratégias adotadas, bem como, os resultados do custo total da produção agrícola e pecuária. Logo, demonstrando a utilidade de sistema operacional nesse tipo de sistema.

Tal performance foi possível graças à análise do software Anylogic, capaz de integrar os métodos SED e SBA, que o auxiliam a chegar em resultados mais precisos. Uma versão mais simples do software foi desenvolvida na década de 90 pela companhia The Anylogic (antes grupo The Distributed Computer Network), mas seu destaque incentivou seus desenvolvedores a melhorarem seu funcionamento, sendo assim, criado o Anylogic, lançado em java no ano 2000, usando lógica para modelagem de SD, SED, e SBA. Sua versão

lançada em 2007 trazia ferramentas de simplificação na construção de modelos, e suporte para essa modelagem. Sendo as bibliotecas pré-estruturadas e a visualização gráfica presentes nele, os responsáveis pela verificação.

Um modelo matemático de programação linear foi desenvolvido para usar os dados coletados de uma área de cultivo de uvas na cidade de Flores da Cunha- RS, utilizando o método simplex como ferramenta para gerar uma estratégia de plantio de uvas visando à maximização do lucro do cultivo. Foram coletados os seguintes dados: área viável ao plantio, seus custos e as restrições aplicadas ao modelo, as quais foram: a área dimensional, o tempo de colheita e poda, e os custos gerais. O resultado da aplicação deste modelo foi um aumento de 13% nos lucros da atividade de plantio.

Convém lembrar que a adesão generalizada a estas tecnologias no campo será lenta, devido a alguns fatores, dentre estes podemos citar: a descapitalização de uma boa parte dos pequenos agricultores, os altos preços de equipamentos tecnológicos (não apenas máquinas de precisão, como também tablets, computadores e acesso à internet), e falta de infraestrutura em áreas rurais com baixa qualidade de internet (carência de investimentos governamentais). Entretanto, com o contínuo avanço da tecnologia, e os benéficos que ela traz ao meio agrícola, cada vez mais, pequenos agricultores adotam tecnologias que propiciam uma agricultura mais sustentável, onde a maior precisão proporcionada por estas auxilia na redução de perdas de safras, água e insumos, ajudando assim, não só o agricultor financeiramente, como também garantindo uma maior preservação de recursos ambientais (Donato *et al.*, 2021; Silva & Cavichiolo, 2020).

CONCLUSÃO

A utilização do software desenvolvido no presente trabalho pode auxiliar o agricultor no processo de minimização dos custos de sua adubação orgânica, assim como o uso de outros softwares pode contribuir para que este otimize a utilização de recursos agrícolas. Estas ferramentas podem auxiliar no aumento da eficiência dos processos produtivos agrícolas, mas não podem, por si só, tomar decisões pelo agricultor. A gestão de propriedades agrícolas necessita de uma série de ações e análises imprescindíveis a utilização do software desenvolvido no presente trabalho, bem como de outros, de modo que uma análise humana cuidadosa continua sendo indispensável para o sucesso dos sistemas produtivos agrícolas.

REFERÊNCIAS

- Almeida, L.; Martins, G.; Silva, W. 2013. Otimização de Processos Utilizando a Programação linear. *Enciclopédia Biosfera* 9: 1642-1653.
- Amoroso, C.R.M.G. 2020. Sustentabilidade na reciclagem e no uso da água em indústria de produção de papel por meio da simulação computacional. 98 f. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia de Produção, Goiânia, Pontifícia Universidade Católica, Goiânia.
- Arenales, M.; Armentano, V.; Morabito, R.; Vanasse, H. 2007. Pesquisa Operacional para cursos de engenharia. Editora Elsevier, Rio de Janeiro 5 p.
- Barella, R.C.F.; Souza, C.C.; Neto J.F.R., Maldonado, S.; Rodrigues, W.O.P. 2020. Otimização da Produção de Queijos Usando a Ferramenta Solver do Excel. *Uniciências* 24: 124-129. <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2020v24n2p124-129>
- Barbosa, M.A.; Zanardini, R.A.D. 2014. Pesquisa Operacional: Iniciação à pesquisa operacional no ambiente de Gestão. *Curitiba: InterSaberes* 2:5-8.
- Belfiore P.; Fávero, L.P. 2013 Pesquisa Operacional Para Cursos de Administração, Contabilidade e Economia. Elsevier Brasil 8: 11-13.
- Bortoluzzi, M.; Gutierrez, J.; Alves, M.F.; Fenerich, A.T. 2020. Apoio à tomada de decisão em uma indústria do setor fashion: novas perspectivas a partir da sustentabilidade e da indústria 4.0. *Revista de engenharia de produção*, 2: 53-76.
- Branco, J.E.H.; Bartholomeu, D.B.; Vettorazzi, A.C. 2020. Avaliação das emissões de CO₂ na etapa de transporte do etanol: aplicação de um modelo de otimização. *Transportes*, 28: 63–80. <https://doi.org/10.14295/transportes.v28i1.1856>
- Carvalho, F.H. 2021. Modelo de programação linear e sua aplicação com o uso da linguagem gams para o apoio nas decisões do sojicultor. 81 f. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – Programa de graduação em Administração, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Castelão, R.A.; Souza, C.C.; Frainer, D.M.; Junior, J.B.A.C. 2020. Crescimento econômico e indução de alteração ambiental no Mato Grosso do Sul entre 1991 e 2010. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11: 331-344.
- Da Silva Fonseca, D.; De Souza, E.P.; De Santana, L.M.; Reis, B.C.M.; De Oliveira Bortoluzzi, M.B. 2018. Aplicação da pesquisa operacional para o desenvolvimento local: uma alternativa para produtores de hortaliças por meio da otimização do processo produtivo. *Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN)*, 2: 30-45.
- De Donato, A.; Dos Santos, M.; De Donato, I.M.L. 2021. Modelo de otimização de custos de adubação orgânica. *Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia*, 13: 82-102. <https://doi.org/10.22407/1984-5693.2021.v13.p.84-102>
- Dos Santos, T.; Esperidião, T.; Amarante, M. 2019. Agricultura 4.0. *Revista Pesquisa e Ação*, 5: 122-131.
- Fiorese, C.H.U. 2021. Vulnerabilidade Natural à Erosão nas Áreas de Café e Pastagem no Município de Cachoeiro de Itapemirim (ES). *Cadernos Camilliani*, 17: 2011-2030.
- Garcia, R.C.; Ortiz, D.R. 2020. Modelo de otimização na operação carro-pipa na distribuição de água do nordeste brasileiro com a construção de novas estações de água: estudo de caso em alagoas. IN: 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, 1: 1 -11.

- Isabel, J.E.; Souza, B.S.; Da Silva, A.M. 2020. Planejamento de produção de ovos de páscoa utilizando a programação linear. *South American Development Society Journal*, 6: 259-260. <http://dx.doi.org/10.24325/issn.2446-5763.v6i16p259-276>.
- Longaray, A.A.; Do Amaral, M.L.S.; Amaral, T.A.; Tondolo, V.M.G. 2021. Modelo de otimização para descarga de contêineres de importação. *Sistemas & Gestão*, 16: 11–18.
- Melges, A.I. 2020. Pesquisa operacional aplicada à otimização de uma unidade de produção agropecuária do Oeste Paranaense. 70 f. 2020. (Tese de mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Oliveira, A. 2022. Aplicação de Pesquisa Operacional no processo de programação de produção de líquido de uma indústria cervejeira. 53 f. 2022. Trabalho de Conclusão de curso – Programa de graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.
- Pereira, A.A.; Oliveira, M.A. 2021. Estratégia e Logística de Distribuição: Um Estudo de Caso do Segmento Industrial Brasileiro de Fertilizantes Nitrogenados. *Revista Ciências Administrativas*, 26: 1-13. <https://doi.org/10.5020/2318-0722.2020.26.3.9350>
- Pinheiro, T. C. 2020. Gestão da produção de frangos de corte por meio de redes neurais artificiais. *Holos (Natal, online)* 2: 1-15.
- Rios, A.R.; Poldi, K.C. 2020. Problema de corte de estoque unidimensional com sobras aproveitáveis: solução via metaheurística Grasp. *tema (São Carlos)*, 21: 441-460.
- Rodrigues, S.G. 2020. Mapeamento de perigo de deslizamentos de terra e inundações: proposição de abordagem utilizando processamento de linguagem natural e aprendizado de máquina. 138 f. 2020. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru.
- Rosa, L.C.; Bueno, W.P. 2020. Framework para gestão de processos com a utilização do simulador Flexsim: estudo de caso em uma linha de montagem de tratores. *Tecno-Lógica*, 24: 264-274. <https://doi.org/10.17058/tecnolog.v2i0.15572>.
- Sartorello, G.L. 2021. Desenvolvimento de modelo híbrido de simulação para avaliação econômica de sistemas integrados de produção agropecuária. 131 f. 2021. Tese, Doutorado em Nutrição e Produção Animal, Universidade de São Paulo, Pirassununga.
- Silva, J.M.P.; Cavachioli, F. A. 2020. O uso da agricultura 4.0 como perspectiva do aumento da produtividade no campo. 2020. *Interface tecnológica*, 17: 616 – 630. <https://doi.org/10.31510/infa.v17i2.1068>.
- Villar, F.A.A.; Correia, M.S.; Nóbrega R.S.; Aragão M.R.S.; Barbieri, L.F.P.; Filho, F.M.F. 2020. Avaliação do Impacto de Secas Severas no Nordeste Brasileiro na Geração de Energia Elétrica Através do Modelo Newave: Projeção das Energias Afluentes e Armazenadas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 35: 89-98. <https://doi.org/10.1590/0102-7786351004>.
- Virgens, A.P.; Freitas, L.C.; Silva, M. L. Avaliação financeira e gerenciamento de risco para diferentes distâncias de transporte de madeira pelo modal rodoviário. 2021. *Ciência Florestal*, 31: 880-897. <https://doi.org/10.5902/1980509835470>.