

Compra de produtos agrícolas para produção de uva: uma abordagem matemática com base em multicritérios

Purchase of agricultural products for grape production: a mathematical approach based on multicriteria

Compra de productos agrícolas para la producción de uva: un enfoque matemático basado en multicriterios

David André Evangelista Ferreira

Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)

Avenida Antônio Carlos Magalhães, 510 - Santo Antônio CEP: 48902-300 - Juazeiro/BA

 <https://orcid.org/0009-0007-7771-1686>

e-mail: david.aef@outlook.com

Ângelo Antônio Macedo Leite

Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)

Avenida Antônio Carlos Magalhães, 510 - Santo Antônio CEP: 48902-300 - Juazeiro/BA

 <https://orcid.org/0000-0003-1566-091X>

e-mail: angelo.leite@univasf.edu.br

Thiago Magalhães Amaral

Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)

Avenida Antônio Carlos Magalhães, 510 - Santo Antônio CEP: 48902-300 - Juazeiro/BA

 <http://orcid.org/0000-0001-8682-7794>

e-mail: prof.thiago.magalhaes@gmail.com

Pedro Vieira Souza Santos

Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)

Avenida Antônio Carlos Magalhães, 510 - Santo Antônio CEP: 48902-300 - Juazeiro/BA

 <https://orcid.org/0000-0001-9802-506X>

e-mail: pedrovieirass@hotmail.com

Resumo: A uva de mesa é uma das culturas mais importantes do agronegócio no Vale do Submédio São Francisco, contudo, é uma cultura que exige diversos cuidados com relação aos seus nutrientes, como por exemplo o magnésio, e o aumento das defesas da videira, através dos indutores de resistência. O objetivo desse trabalho foi ranquear, através de métodos multicritérios, dois tipos de produtos agrícolas, fonte de magnésio e indutor de resistência, a serem utilizados em uma fazenda de uva de mesa no Vale do Submédio São Francisco. Os resultados obtidos neste trabalho permitiram ranquear a melhor opção para a fonte de magnésio e o melhor indutor de resistência. O estudo revela que a decisão multicritério pode ser uma ferramenta importante no processo de produção de uvas de mesa, trazendo benefícios ao produtor, como diminuição dos custos com insumos agrícolas, sem perder a qualidade no desenvolvimento do fruto.

Palavras-Chave: Multicritérios. AHP. TOPSIS. Uva.

Abstract: Table grapes are one of the most important agribusiness crops in the Submédio São Francisco Valley. However, they require careful consideration of their nutrients, such as magnesium, and increased vine defenses through resistance inducers. The objective of this study was to use multicriteria methods to rank two types of agricultural products—magnesium sources and resistance inducers—to be used on a table grape farm in the Submédio São Francisco Valley. The results enabled us to rank the best option for the magnesium source and the best resistance inducer. The study reveals that multicriteria decision-making can be an important tool in the table grape production process, bringing benefits to producers, such as reduced agricultural input costs, without compromising fruit development quality.

Keywords: Multicriteria. AHP. TOPSIS. Grape.

Resumen: La uva de mesa es uno de los cultivos agroindustriales más importantes del Valle del Submédio São Francisco. Sin embargo, requiere una cuidadosa evaluación de sus nutrientes, como el magnesio, y el aumento de las defensas de la vid mediante inductores de resistencia. El objetivo de este estudio fue utilizar métodos multicriterio para clasificar dos tipos de productos agrícolas (fuentes de magnesio e inductores de resistencia) para su uso en una finca de uva de mesa en el Valle del Submédio São Francisco. Los resultados permitieron clasificar la mejor opción para la fuente de magnesio y el mejor inductor de resistencia. El estudio revela que la toma de decisiones multicriterio puede ser una herramienta importante en el proceso de producción de uva de mesa, aportando beneficios a los productores, como la reducción de los costos de los insumos agrícolas, sin comprometer la calidad del desarrollo de la fruta.

Palabras Clave: Multicriterios. AHP. TOPSIS. Uva.

Introdução

A região do Vale do Submédio São Francisco, que compreende o norte da Bahia e o oeste de Pernambuco, tornou-se forte no agronegócio ao usufruir dos projetos de irrigação advindos das águas do rio São Francisco e da criação da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF). O Vale aproveita de um clima tropical e de muito sol durante o ano e, desenvolve, através da Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA), técnicas que possibilitam o cultivo nessa área. Ao produzir cerca de 1 milhão de toneladas de frutas por ano, com um faturamento anual próximo dos 2 bilhões de reais, nota-se a importância da fruticultura da região. A uva do Vale representa 99% do volume total exportado pelo Brasil, tendo a Holanda, o Reino Unido e os EUA como alguns dos destinos (Sá & Lima, 2018; Nascimento, 2021; Souza Júnior et al., 2022).

A adaptação dos cultivares de uva ao clima do Vale, permite uma produtividade elevada e de qualidade. O melhoramento genético feito pela EMBRAPA e outras empresas, permitiu um aumento no número de variedades existentes na região, principalmente aquelas sem semente. Entre as variedades brasileiras, podemos citar a BRS Vitória e a BRS Isis. De acordo com Leão (2022), a variedade BRS Vitória possui um ciclo médio de 120 dias, apresentando uma tonalidade avermelhada e um rastro de semente, porém, ostenta um sabor agradável. Com uma capacidade média de 60 toneladas por hectare no ano, contudo, possui uma sensibilidade a ocorrência de chuva no final do ciclo, podendo ocorrer a rachadura da baga. Já a variedade BRS Isis prevê um ciclo médio de 105 dias, apresentando uma tonalidade escura, sem sementes e com um sabor agradável. Ela possui uma capacidade que varia de 50 a 60 toneladas por hectare no ano (Leão, 2022).

Durante o processo produtivo da uva é preciso ter muitos cuidados com a nutrição da cultura, para que a mesma tenha um bom desenvolvimento. Dentre os macro e micro nutrientes extraídos pelas videiras durante o ciclo, podemos citar: o potássio (K); o nitrogênio (N); o fósforo (P); o enxofre (S); magnésio (Mg); cálcio (Ca); o zinco (Zn); o ferro (Fe); o boro (B); o cobre (Cu); e, o manganês (Mn). Sendo que, as quantidades extraídas e armazenadas dessas substâncias podem variar de acordo com alguns aspectos, entre eles, o porta-enxerto e o manejo utilizado (Leão, 2020).

A videira possui uma alta sensibilidade a deficiência de magnésio, principalmente em solos com certa acidez, sendo um dos sintomas o amarelamento entre os nervos das folhas. O magnésio (Mg) auxilia na fotossíntese da planta, no transporte de carboidratos e na pigmentação, e sua falta pode gerar uma redução no teor de açúcar e o dessecamento da ráquis (seu escurecimento afeta a aparência do cacho e consequentemente seu valor de mercado). A aplicação balanceada de fertilizantes ajuda a planta a não sofrer com a carência de nutrientes (Alpendre et al., 2019; Ferreira et al., 2017; Santos, 2017; Machado & Santos, 2020).

As videiras necessitam vencer algumas pragas para poder ter um desenvolvimento pleno, além de precisarem estar bem nutrida. Uma forma de combater essas doenças é por meio de defensivos, porém, os mesmos são ofensivos ao meio ambiente. Por conta disso, é preciso buscar alternativas a esses produtos, e uma delas é o indutor de resistência. Tal produto é capaz de estimular a planta, fazendo com que ela possa se proteger de forma química e física de algumas dessas mazelas (Cavalcanti et al, 2020; Santos & Leite, 2020).

A uva possui custos de produção, seja de mão de obra ou de insumos, tendo esse último se agravado com a guerra entre Ucrânia e Rússia. De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2022), o conflito entre esses dois países teve impacto no preço de alguns produtos, entre eles os insumos agrícolas, que têm o Brasil como um dos principais importadores desses produtos em todo o mundo.

Garantir o bom desenvolvimento da cultura ao mesmo tempo em que busca alternativas aos altos custos dos insumos e da produção é um desafio, exigindo tomadas de decisão em diversos momentos. Ao analisar dados da empresa objeto de estudo, foi possível identificar que o indutor de resistência utilizado pela mesma era um dos produtos mais custosos. Além disso, visando uma melhor nutrição da cultura, foi indicado pelo consultor agrícola da fazenda um reforço de magnésio para as videiras. Surgindo assim, a necessidade de compra de dois novos produtos sob a ótica de diferentes critérios. Contudo, devido a quantidade de opções no mercado, a escolha desses insumos torna-se complicada. A decisão multicritério se apresenta como uma ferramenta capaz de solucionar esse problema, definindo através de avaliações e cálculos, quais os melhores produtos para a fazenda adquirir.

A decisão multicritério possibilita fazer escolhas dentro da agricultura não somente nos insumos fertilizantes, como também em outros produtos. Por meio de modelos matemáticos, busca resolver os diversos tipos de problemas existentes, levando em consideração os critérios envolvidos na decisão. Através dos seus variados métodos, é possível avaliar as opções de mercado que mais se adequam à realidade da fazenda, buscando alternativas que atendam a todos os critérios analisados (Pereira, 2019; Knierim, 2021). Portanto, o presente artigo teve como objetivo ranquear através de métodos multicritérios dois tipos de produtos agrícolas, fonte de magnésio e indutor de resistência, a serem utilizados em uma fazenda de uva de mesa no Vale do Submédio São Francisco, situada em Petrolina-PE.

Elementos teóricos da pesquisa

A Decisão Multicritério busca identificar a melhor solução possível para um problema de acordo com critérios definidos em conjunto com o decisor, aplicados a um dos métodos existentes que se dividem de acordo com a finalidade e necessidade do problema em questão (Jacomini, 2022). Segundo Gonçalves, Pinheiro & Freitas (2003, p. 02): os elementos fundamentais presentes nos processos de decisão são:

“1) Obter respostas às perguntas enfrentadas por um decisor em um processo de decisão; 2) Tornar transparente toda potencial decisão; 3) Aumentar a coerência entre a evolução de um processo de decisão, os objetivos, e o sistema de valor do processo.”

Existem diversos métodos para resolução de problemas e eles se dividem em duas grandes escolas, a americana que é mais objetiva, chamada *Multicriteria Decision Making* (MCDM) e a europeia *Multi Criteria Decision Analysis* (MCDA) com uma abordagem mais subjetiva aos problemas de tomada de decisão (Souza & Jerônimo, 2015; Santos *et al.*, 2025). Os métodos da Decisão Multicritério padronizam as tomadas de decisão através da modelagem matemática, onde cada método tem seu modelo específico, dentro da sua família, seja ela critério único de síntese, sobreclassificação ou interativos. Dentre os mais conhecidos estão, o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), PROMETHEE, Electre I, II, Tri, FITRADEOFF, *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), entre outros métodos existentes (Guarnieri, 2015).

Analytic Hierarchy Process (AHP)

O AHP é um método simples e prático e foi desenvolvido por Thomas Lorie Saaty e que pode ser utilizado nos mais variados problemas, sejam eles qualitativos ou quantitativos. Nele, os problemas são estruturados de maneira hierárquica para facilitar a decisão, onde os critérios e alternativas serão comparados e avaliados pelo próprio decisor por meio da escala Saaty (Souza *et al.*, 2022). De acordo com Leite *et al.* (2021) a escala Saaty irá representar qual o grau de importância de um critério sobre outro para o decisor e vice-versa, variando em valores de 1 a 9.

Vale observar que o elemento mais importante da comparação é sempre usado como um valor inteiro da escala, e o menos importante, como o inverso dessa unidade (Silva, 2007). Se o elemento-linha é menos importante do que o elemento-coluna da matriz, entramos com o valor recíproco na posição correspondente da matriz.

De acordo com Pereira *et al.* (2022), o algoritmo do método AHP é definido pelas seguintes etapas:

- Definição da matriz de avaliação:

$$X = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & \cdots & a_{xn} \end{bmatrix}$$

- Normalização da matriz de decisão e cálculo do vetor prioridade:

$$W_i = (\prod_{j=1}^n w_{ij})^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

$$T = \frac{w_1}{\sum w_i} \quad (2)$$

- Cálculo do $\lambda_{\text{máx}}$:

$$\lambda_{\text{máx}} = T \times W \quad (3)$$

- Cálculo do índice de consistência (IC):

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{(n-1)} \quad (4)$$

- Cálculo da razão de consistência (RC):

$$RC = \frac{IC}{CA} \quad (5)$$

O resultado de RC não pode ultrapassar 0,10 (10%), caso isso aconteça, é necessário realizar uma nova avaliação. O valor de *Consistent Average* (CA) é um índice aleatório que varia de acordo com o tamanho da matriz e é tabelado pela literatura (Pereira *et al.*, 2022).

Technique for order of preference by similarity to ideal solution (TOPSIS)

O método *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) permite o ranqueamento e seleção de alternativas, e foi proposto por Hwang & Yoon (1981). O TOPSIS forma a solução ideal positiva (os melhores resultados possíveis de cada alternativa) e a solução ideal negativa (os piores valores dentre as opções), para então, ranquear e escolher as alternativas mais próximas possíveis da solução ideal positiva, e mais longe da solução ideal negativa (Lima & Carpinetti, 2015).

De acordo com Ishizaka & Nemery (2013), o algoritmo do método TOPSIS é definido pelas seguintes etapas:

- Definição da matriz de decisão com n alternativas e m critérios. $X = (x_{ia})$, sendo $i = 1, \dots, m$ e $a = 1, \dots, n$.
- Normalização da matriz através da equação (6):

$$r_{ia} = \frac{x_{ia}}{\sqrt{\sum_{a=1}^n x_{ia}^2}}, \text{ sendo, } a = 1, \dots, n \text{ e } i = 1, \dots, m. \quad (6)$$

- Ponderação da matriz normalizada: multiplicação do valor normalizado r_{ia} pelo seu respectivo peso w_i .

$$v_{ia} = w_i \times r_{ia} \quad (7)$$

- Determinação da solução ideal positiva e negativa:

$$A^+ = (v_1^+, \dots, v_m^+) \quad (8)$$

$$A^- = (v_1^-, \dots, v_m^-) \quad (9)$$

Onde: $v_1^+ = \max_a(v_{ia})$ se for um critério de maximização e $v_1^- = \min_a(v_{ia})$ se o critério for de minimização.

- Cálculo das distâncias das soluções ideais:

$$d_a^+ = \sqrt{\sum_i (v_i^+ - v_{ia})^2}, \text{ sendo } a = 1, \dots, m \quad (10)$$

$$d_a^- = \sqrt{\sum_i (v_i^- - v_{ia})^2}, \text{ sendo } a = 1, \dots, m \quad (11)$$

- Cálculo da proximidade relativa:

$$C_a = \frac{d_a^-}{d_a^+ - d_a^-} \quad (12)$$

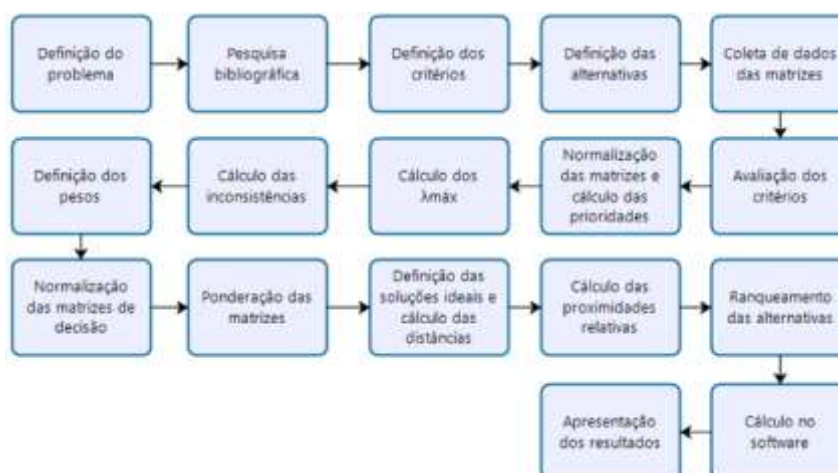
Seguindo todas as etapas acima é possível chegar aos melhores valores dentre as opções selecionadas e assim ranquear as mesmas de acordo com suas proximidades relativas.

Elementos metodológicos da pesquisa

O estudo foi realizado em uma fazenda de pequeno porte localizada no Projeto Madre Tereza em Petrolina-PE, a qual produz uvas de mesa para exportação e mercado interno, possuindo as variedades BRS Vitória e BRS Isis. A pesquisa é classificada como: aplicada, quantitativa, bibliográfica e um estudo de caso.

O presente trabalho é dividido em 17 etapas (Figura 1), tendo início com a definição do problema (etapa 1) a ser solucionado, seguido pela pesquisa bibliográfica (etapa 2) para embasar e contextualizar o trabalho.

Figura 1 – Etapas da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2024)

Após as duas primeiras etapas, foi feita a escolha dos critérios a serem utilizados junto ao decisor (dono da empresa), e o seu consultor agrícola, responsável por prescrever os produtos necessários para que a qualidade do solo e da cultura estejam no melhor estado possível, ou seja, bem nutridas e sem doenças.

Os produtos trabalhados possuem características técnicas que fogem do nível de conhecimento da engenharia de produção, se fazendo necessário a participação de um profissional capacitado e experiente, que nesse caso, foi o consultor agrícola da fazenda. E, já que o mesmo trabalha com esses produtos em outras fazendas, seu *know how* possibilita uma avaliação precisa das capacidades e entregas de cada um deles.

Em seguida foi realizada a escolha das alternativas, mais uma vez com o auxílio do consultor, prezando pelas melhores opções de mercado, de acordo com as necessidades e a realidade da fazenda. Por conta das marcas dos insumos, utilizou-se a nomenclatura de Produto A, B, C, D e E para a fonte de magnésio, e Produto 1, 2, 3 e 4 para o indutor de resistência. Na sequência foram coletados os dados das matrizes de decisão, através de consultas com os fornecedores (questões de preço, entrega e forma de pagamento), com o consultor (questões técnicas dos produtos) e através de avaliações feitas pelo dono da organização por meio da escala Likert.

Após a definição da matriz de decisão, foram definidos os pesos dos critérios através do método AHP, o qual foi realizado da seguinte maneira: avaliação dos critérios pelo decisor através da escala de Saaty; normalização das matrizes e cálculo dos vetores prioridade; cálculo dos $\lambda_{\max}$; e, cálculo das inconsistências (o qual busca avaliar a consistência dos resultados encontrados), conforme mostrado nas equações (1) a (5).

Após a aplicação do AHP, utilizou-se o método TOPSIS, por meio das seguintes etapas: normalização das matrizes de decisão; ponderação das matrizes; definição das soluções ideais; cálculo das distâncias; cálculo da proximidade relativa; e, o ranqueamento das opções conforme mostrado nas equações de (6) a (12). Os cálculos foram todos realizados no Microsoft Excel, validados em um software gratuito 3DM do Instituto Militar de Engenharias (IME), desenvolvido por Bozza *et al.* (2020). Os valores obtidos foram comparados e por fim, apresentados para o decisor. O uso dos métodos AHP e TOPSIS mostrou-se adequado em outros trabalhos, como em Caiado *et al.* (2016) e Tedesco *et al.* (2019). Além disso, segundo os mesmos autores, o AHP possibilita avaliar os critérios para obter suas prioridades, eliminando a necessidade do decisor escolher arbitrariamente os pesos dos critérios, enquanto o TOPSIS permite trabalhar com critérios quantitativos à medida em que busca ranquear as alternativas analisadas, que é o objetivo do presente artigo.

Apresentação e discussão dos resultados

Após as primeiras etapas foram definidos os critérios a serem analisados, assinalando se os mesmos são de maximização ou de minimização. Já que para alguns critérios, como o custo por exemplo, é preferível que o mesmo seja o mínimo possível, enquanto que critérios como o efeito do produto, o ideal é que ele seja o maior possível.

Para o insumo que é fonte de magnésio os critérios foram:

- Concentração de magnésio: tendo em vista que é a substância que precisa ser reforçada na videira, quanto maior sua concentração, melhor será para o produtor;
- Dosagem: quanto menor a dosagem de um produto, menor será o seu custo por aplicação, sendo

então um critério de minimização;

- Flexibilidade de pagamento (prazo de pagamento e até mesmo descontos oferecidos): para uma empresa de porte menor, como é o caso, possuir uma maior flexibilidade no pagamento ajuda a manter um fluxo de caixa saudável;
- Efeito do produto: a qualidade do produto precisa ser maximizada, portanto, quanto maior o seu efeito melhor será seu resultado;
- Custo: quanto menor o custo do produto melhor para a saúde financeira. É um critério clássico de minimização;
- Entrega (qualidade, confiabilidade e prazo): ter o produto certo, no prazo certo e sem problemas com embalagem, é a garantia de que a programação de aplicação do mesmo não será afetada (atrasada ou adiada). Portanto, quanto maior o poder de entrega do fornecedor, melhor;
- Rendimento: quantidade de aplicações que o produto dura. Quanto maior o rendimento melhor, sendo então um critério de maximização.

Para o indutor de resistência os critérios foram idênticos, com exceção da concentração de magnésio, a qual não se aplica para esse tipo de produto. Em seguida foram definidas as alternativas com auxílio do consultor agrícola, prezando pelos produtos que entregam a qualidade necessária para o produtor e que já possuam uma credibilidade no mercado.

Para definir os pesos de cada critério foi utilizado o método AHP, tendo início com a coleta de dados para formação da matriz de avaliação. Os critérios foram avaliados pelo decisor através da escala Saaty, comparando cada critério de acordo com sua importância (valores variando de um a nove) com relação ao outro, para pôr fim chegar ao peso de cada um. Os resultados da avaliação se encontram na Tabelas 1.

Tabela 1 - Matriz de avaliação da fonte de magnésio

	Concentração de magnésio (p/v %)	Dosagem (L/ha)	Flexibilidade no pagamento	Efeito do produto	Custo (R\$/L)	Entrega (Conf./Quali.)	Rendimento (Qnt. Apli./L)
Concentração de magnésio (p/v %)	1,00	7,00	3,00	0,14	1,00	7,00	7,00
Dosagem (L/ha)	0,14	1,00	0,20	0,11	0,14	1,00	0,50
Flexibilidade no pagamento	0,33	5,00	1,00	0,14	0,25	6,00	3,00
Efeito do produto	7,00	9,00	7,00	1,00	6,00	9,00	7,00
Custo (R\$/L)	1,00	7,00	4,00	0,17	1,00	9,00	5,00
Entrega (Conf./Quali.)	0,14	1,00	0,17	0,11	0,11	1,00	0,33
Rendimento (Qnt. Apli./L)	0,14	2,00	0,33	0,14	0,20	3,00	1,00

Fonte: Autoria própria (2023).

A diagonal das tabelas 1 e 2 é preenchida com o valor igual a 1, já que é uma comparação entre os mesmos critérios, sendo assim, é um valor de importância equivalente. Nas outras avaliações, destaque para o efeito do produto, que teve uma avaliação 9 (absoluta) quando comparada com a

dosagem e a entrega, e, 7 (muito forte) com relação a concentração de magnésio e a flexibilidade no pagamento. Tanto na Tabela 3 como na Tabela 4, o efeito do produto, o custo, a flexibilidade no pagamento e a concentração de magnésio (critério específico da fonte de magnésio) foram os critérios mais bem avaliados em comparação ao restante. Ou seja, na visão do decisor, eles possuem uma importância maior que os demais.

Tabela 2 – Matriz de avaliação do indutor de resistência

	Dosagem (L/há)	Flexibilidade de no pagamento	Efeito do produto	Custo (R\$/L)	Entrega (Conf./Quali.)	Rend. (Qnt. Apli./L)
Dosagem (L/há)	1,00	0,20	0,11	0,14	1,00	0,50
Flexibilidade no pagamento	5,00	1,00	0,14	0,25	6,00	3,00
Efeito do produto	9,00	7,00	1,00	6,00	9,00	7,00
Custo (R\$/L)	7,00	4,00	0,17	1,00	9,00	5,00
Entrega (Conf./Quali.)	1,00	0,17	0,11	0,11	1,00	0,33
Rendimento (Qnt. Apli./L)	2,00	0,33	0,14	0,20	3,00	1,00

Fonte: Autoria própria (2023).

Depois da definição da matriz, a mesma foi normalizada, para que seus valores fiquem variando entre zero e um, onde cada célula da coluna é dividida pelo somatório da mesma. Após isso, foram calculados os vetores prioridade, que são os pesos dos critérios, através da média aritmética de cada linha da matriz. A matriz normalizada, assim como os pesos dos critérios, são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Matriz normalizada e vetores prioridade da fonte de magnésio

	Concentração de magnésio (p/v %)	Dosagem (L/ha)	Flexibilidade no pagamento	Efeito do produto	Custo (R\$/L)	Entrega (Conf./Quali.)	Rendimento (Qnt. Apli./L)	Vetor Prioridade
Concentração de magnésio (p/v %)	0,10	0,22	0,19	0,08	0,11	0,19	0,29	0,17
Dosagem (L/ha)	0,01	0,03	0,01	0,06	0,02	0,03	0,02	0,03
Flexibilidade no pagamento	0,03	0,16	0,06	0,08	0,03	0,17	0,13	0,09
Efeito do produto	0,72	0,28	0,45	0,55	0,69	0,25	0,29	0,46
Custo (R\$/L)	0,10	0,22	0,25	0,09	0,11	0,25	0,21	0,18
Entrega (Conf./Quali.)	0,01	0,03	0,01	0,06	0,01	0,03	0,01	0,02
Rendimento (Qnt. Apli./L)	0,01	0,06	0,02	0,08	0,02	0,08	0,04	0,05

Fonte: Autoria própria (2023).

Para a fonte de magnésio os critérios com o maior peso foram o efeito do produto (0,46), o custo (0,18), a concentração de magnésio (0,17) e a flexibilidade no pagamento (0,09). A dosagem, a entrega e o rendimento foram considerados menos importantes na visão do decisor.

Tabela 4 – Matriz normalizada e vetores prioridade do indutor de resistência

	Dosagem (L/ha)	Flexibilidade no pagamento	Efeito do produto	Custo (R\$/L)	Entrega (Conf./Quali.)	Rendimento (Qnt. Apli./L)	Vetor Prioridade
Dosagem (L/ha)	0,04	0,02	0,07	0,02	0,03	0,03	0,03
Flexibilidade no pagamento	0,20	0,08	0,09	0,03	0,21	0,18	0,13
Efeito do produto	0,36	0,55	0,60	0,78	0,31	0,42	0,50
Custo (R\$/L)	0,28	0,31	0,10	0,13	0,31	0,30	0,24
Entrega (Conf./Quali.)	0,04	0,01	0,07	0,01	0,03	0,02	0,03
Rendimento (Qnt. Apli./L)	0,08	0,03	0,09	0,03	0,10	0,06	0,06

Fonte: Autoria própria (2023).

Na avaliação do indutor de resistência, os principais critérios foram o efeito do produto (0,50), o custo (0,24) e a flexibilidade no pagamento (0,13). Ou seja, para o decisor e dono da empresa, o efeito do produto e o custo são muito importantes no momento de decisão e escolha de insumos, tanto para a fonte de magnésio como para o indutor de resistência. Com as prioridades calculadas, as etapas seguintes foram a definição do $\lambda_{\text{máx}}$ e das inconsistências dos valores. As mesmas foram obtidas pela multiplicação da soma ponderada de cada linha da matriz multiplicada pelo respectivo vetor prioridade, onde é feito a média aritmética do resultado dessas multiplicações para obter o $\lambda_{\text{máx}}$ (Tabela 5).

Tabela 5 – Cálculo do $\lambda_{\text{máx}}$ da fonte de magnésio

	Concentração de magnésio	Dosagem	Flexibilidade no pagamento	Efeito do produto	Custo	Entrega	Rendimento	Soma ponderada	Prioridade	Soma/Prioridade
Concentração de magnésio	0,17	0,18	0,28	0,07	0,18	0,17	0,33	1,38	0,17	8,07
Dosagem	0,02	0,03	0,02	0,05	0,03	0,02	0,02	0,19	0,03	7,34
Flexibilidade no pagamento	0,06	0,13	0,09	0,07	0,04	0,15	0,14	0,68	0,09	7,27
Efeito do produto	1,19	0,24	0,65	0,46	1,06	0,22	0,33	4,16	0,46	9,02
Custo	0,17	0,18	0,37	0,08	0,18	0,22	0,23	1,44	0,18	8,10
Entrega	0,02	0,03	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,18	0,02	7,21

Rendimento	0,02	0,05	0,03	0,07	0,04	0,07	0,05	0,33	0,05	7,10
										$\lambda_{\text{máx}} =$
										7,73

Fonte: Autoria própria (2023)

Os valores do $\lambda_{\text{máx}}$ podem ser vistos nas Tabelas 6 e 7. Os mesmos serão utilizados para realização do cálculo dos IC e RC, que podem ser feitos através das equações (4) e (5) (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7 – Cálculo do índice de consistência e da razão de consistência da fonte de magnésio

n=	7	Ordem da matriz
IC=	0,12	Índice de consistência
RC=	0,09	Razão de consistência

Fonte: Autoria própria (2023).

Como a matriz da fonte de magnésio é de ordem 7, o valor de CA de acordo com a Tabela 2 é de 1,32. O valor da razão de consistência da fonte de magnésio foi de 0,09 estando abaixo do limite de 0,10, portanto os resultados podem ser considerados consistentes.

Tabela 8 – Cálculo do $\lambda_{\text{máx}}$ do indutor de resistência

	Dosagem	Flexibilidade no pagamento	Efeito do produto	Custo	Entrega	Rendimento	Soma ponderada	Prioridade	Soma/Prioridade
Dosagem	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03	0,21	0,03	6,24
Flexibilidade no pagamento	0,17	0,13	0,07	0,06	0,19	0,19	0,81	0,13	6,22
Efeito do produto	0,31	0,91	0,50	1,43	0,28	0,44	3,88	0,50	7,72
Custo	0,24	0,52	0,08	0,24	0,28	0,32	1,68	0,24	7,05
Entrega	0,03	0,02	0,06	0,03	0,03	0,02	0,19	0,03	6,08
Rendimento	0,07	0,04	0,07	0,05	0,09	0,06	0,39	0,06	6,13
									$\lambda_{\text{máx}} =$
									6,57

Fonte: Autoria própria (2023)

Para o cálculo da razão de consistência do indutor de resistência foi utilizado um valor de CA igual a 1,24 já que a matriz é de ordem 6. Caso os valores de RC ultrapassem o limite de 10%, se faz necessário uma nova rodada de avaliação com o decisor, até que a inconsistência deixe de existir (Tabela 9).

Tabela 9 – Cálculo do índice de consistência e da razão de consistência do indutor de resistência

n=	6	Ordem da matriz
----	---	-----------------

IC=	0,11	Índice de consistência
RC=	0,09	Razão de consistência

Fonte: Autoria própria (2023)

O valor da razão de consistência do indutor de resistência deu 0,09, dentro do valor limite. Como não foi necessária uma reavaliação, os pesos obtidos estão validados e definidos, podendo assim seguir para a próxima etapa. Após a definição dos pesos pelo método AHP, deu-se início a aplicação do TOPSIS, tendo como primeira etapa a coleta de dados das matrizes de decisão. Os critérios mais técnicos como o efeito do produto, a concentração de magnésio, a dosagem e o rendimento foram obtidos juntamente com o consultor agrícola e as bulas dos produtos. Os custos dos insumos foram cotados juntamente com os fornecedores dos mesmos. A flexibilidade no pagamento e a entrega foram avaliados pelo decisor através da escala likert em notas de um a cinco, de acordo com o que cada fornecedor oferecia. Os valores obtidos estão presentes nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 – Matriz de decisão da fonte de magnésio

	Concentração de magnésio (p/v %)	Dosagem (L/ha)	Flexibilidade no pagamento	Efeito do produto	Custo (R\$/L)	Entrega (Conf./Quali.)	Rendimento (Qnt. Apli./L)
	MÁX	MÍN	MÁX	MÁX	MÍN	MÁX	MÁX
Produto A	10,40	1,00	4,00	4,00	15,00	4,00	1,00
Produto B	7,98	2,00	3,00	3,00	17,75	3,00	0,50
Produto C	10,42	1,00	4,00	4,00	8,50	4,00	1,00
Produto D	30,00	0,50	5,00	5,00	80,00	2,00	2,00
Produto E	2,52	0,50	4,00	5,00	70,00	4,00	2,00

Fonte: Autoria própria (2023)

Para a fonte de magnésio, o produto D apresentou uma maior concentração de magnésio e uma dosagem mínima, juntamente com o produto E. Com relação ao custo, o produto C foi o mais barato. Os produtos D e E também se destacaram no critério efeito, atingindo uma avaliação ótima.

Tabela 11 – Matriz de decisão do indutor de resistência

	Dosagem (L/ha)	Flexibilidade no pagamento	Efeito do produto	Custo (R\$/L)	Entrega (Conf./Quali.)	Rendimento (Qnt. Apli./L)
	MÍN	MÁX	MÁX	MÍN	MÁX	MÁX
Produto 1	0,50	5,00	1,00	125,00	2,00	2,00
Produto 2	1,00	5,00	3,00	49,00	2,00	1,00
Produto 3	0,50	3,00	3,00	41,00	4,00	2,00

Produto 4	1,00	2,00	2,00	129,90	3,00	1,00
-----------	------	------	------	--------	------	------

Fonte: Autoria própria (2023)

O indutor de resistência teve o produto 3 como o mais barato e ao mesmo tempo com a melhor qualidade na entrega. Já o produto 1 e 2 apresentaram uma ótima flexibilidade no pagamento. No critério de efeito, os produtos 2 e 3 obtiveram a melhor avaliação. Com os dados coletados, foi feita a normalização e ponderação das matrizes através das fórmulas (6) e (7). As Tabelas 12 e 13 mostram os valores das matrizes já ponderadas, onde seus valores normalizados foram multiplicados pelos respectivos pesos dos critérios obtidos no método anterior.

Tabela 12 – Matriz ponderada da fonte de magnésio

	Concentração de magnésio (p/v %)	Dosagem (L/ha)	Flexibilidade no pagamento	Efeito do produto	Custo (R\$/L)	Entrega (Conf./Quali.)	Rendimento (Qnt. Apli./L)
Produto A	0,0515	0,0104	0,0413	0,1933	0,0244	0,0126	0,0145
Produto B	0,0395	0,0207	0,0310	0,1450	0,0289	0,0094	0,0073
Produto C	0,0516	0,0104	0,0413	0,1933	0,0138	0,0126	0,0145
Produto D	0,1485	0,0052	0,0516	0,2417	0,1301	0,0063	0,0290
Produto E	0,0125	0,0052	0,0413	0,2417	0,1138	0,0126	0,0290

Fonte: Autoria própria (2023)

Os valores obtidos nas matrizes ponderadas são necessários para os cálculos e etapas seguintes. É a partir deles que são determinadas as soluções ideais positivas e negativas.

Tabela 14 – Matriz ponderada do indutor de resistência

	Dosagem (L/ha)	Flexibilidade no pagamento	Efeito do produto	Custo (R\$/L)	Entrega (Conf./Quali.)	Rendimento (Qnt. Apli./L)
Produto 1	0,0108	0,0821	0,1047	0,1559	0,0109	0,0401
Produto 2	0,0216	0,0821	0,3142	0,0611	0,0109	0,0200
Produto 3	0,0108	0,0492	0,3142	0,0512	0,0218	0,0401
Produto 4	0,0216	0,0328	0,2094	0,1621	0,0164	0,0200

Fonte: Autoria própria (2023)

As etapas seguintes foram: a definição das soluções ideais, o cálculo das distâncias, das proximidades relativas e o ranqueamento das alternativas. As mesmas foram obtidas através das fórmulas (8), (9), (10), (11) e (12). As Tabelas 14 e 15 mostram os resultados.

Tabela 14 – Soluções ideais, distâncias, proximidade relativa e ranqueamento da fonte de magnésio

	Concentração de magnésio (p/v %)	Dosagem (L/ha)	Flexibilidade no pagamento	Efeito do produto	Custo (R\$/L)	Entrega (Conf./Quali.)	Rendimento (Qnt. Apli./L)
A+	0,15	0,01	0,05	0,24	0,01	0,01	0,03

A-	0,01	0,02	0,03	0,14	0,13	0,01	0,01
DISTÂNCIAS				PROXIMIDADE RELATIVA/RANKING			
	D+	D-		Proximidade relativa	Ranking		
Produto A	0,11	0,12	Produto A	0,53	3		
Produto B	0,15	0,10	Produto B	0,41	4		
Produto C	0,11	0,13	Produto C	0,55	2		
Produto D	0,12	0,17	Produto D	0,59	1		
Produto E	0,17	0,10	Produto E	0,38	5		

Fonte: Autoria própria (2023).

Analisando os resultados tivemos como melhor opção para a fonte de magnésio o Produto D, com uma proximidade relativa de 0,59, seguida dos produtos C (0,55), A (0,53), B (0,41) e E (0,38).

Tabela 15 – Soluções ideais, distâncias, proximidade relativa e ranqueamento do indutor de resistência

	Dosagem (L/ha)	Flexibilidade no pagamento	Efeito do produto	Custo (R\$/L)	Entrega (Conf./Quali.)	Rendimento (Qnt. Apli./L)
A+	0,01	0,08	0,31	0,05	0,02	0,04
A-	0,02	0,03	0,10	0,16	0,01	0,02
DISTÂNCIAS				PROXIMIDADE RELATIVA/RANKING		
	D+	D-		Proximidade relativa	Ranking	
Produto 1	0,23	0,05	Produto 1	0,19	4	
Produto 2	0,03	0,24	Produto 2	0,90	1	
Produto 3	0,03	0,24	Produto 3	0,88	2	
Produto 4	0,16	0,10	Produto 4	0,39	3	

Fonte: Autoria própria (2023)

Para o indutor de resistência, os resultados mostraram que a primeira opção foi o Produto 2, com uma proximidade relativa de 0,90, seguida das opções 3 (0,88), 4 (0,39) e 1 (0,19). Depois dos cálculos realizados no Microsoft Excel, os dados foram validados no software 3DM. Os resultados obtidos foram idênticos aos da planilha desenvolvida com o auxílio dos algoritmos dos métodos. A tabela 16 mostra os valores do *software*.

Tabela 16 – Resultado obtido no *software* 3DM

Fonte de Magnésio	
Distâncias	Proximidade relativa/Ranking

Alternativas	D+	D-			
Produto A	0,1103	0,1251	Produto D	1°	0,5904
Produto B	0,1503	0,1062	Produto C	2°	0,5506
Produto C	0,1097	0,1344	Produto A	3°	0,5314
Produto D	0,118	0,1701	Produto B	4°	0,4139
Produto E	0,1696	0,1028	Produto E	5°	0,3772

Indutor de Resistência

Distâncias			Proximidade relativa/Ranking		
Alternativas	D+	D-			
Produto 1	0,2344	0,0546	Produto 2	1°	0,8972
Produto 2	0,0272	0,2376	Produto 3	2°	0,8794
Produto 3	0,0328	0,2389	Produto 4	3°	0,3927
Produto 4	0,1621	0,1048	Produto 1	4°	0,1888

Fonte: Autoria própria (2023)

Mesmo sendo a opção mais cara entre as fontes de magnésio, o Produto D foi aquele com a maior concentração de Mg, possuindo também um excelente efeito e uma ótima flexibilidade no pagamento. Além disso, possui uma dosagem mínima quando comparada aos demais produtos. Apesar de seu preço elevado, o Produto D entrega a qualidade desejada (um bom reforço de magnésio), apresentando também pontos positivos nos critérios restantes, sendo, portanto, uma boa opção de compra para a empresa.

Na decisão do indutor de resistência, o Produto 2 foi aquele com o segundo menor custo, possuindo um efeito regular e uma ótima flexibilidade de pagamento, ficando muito próximo do Produto 3. A empresa busca a troca do indutor utilizado atualmente devido ao custo, porém, não pode perder em qualidade e nos outros critérios. Portanto, o Produto 3 apresenta características que compensam a sua compra.

Considerações Finais

Observando as aplicações dos métodos AHP e TOPSIS aliado aos resultados obtidos, constata-se como fica mais claro para o decisor escolher a alternativa mais adequada para os dois insumos, tanto a fonte de magnésio quanto o indutor de resistência. Isso acontece, pois esses métodos permitem determinar a importância que cada critério possui no processo de escolha, as opções disponíveis e a preferência do decisor para no final classificar as melhores alternativas através da junção de cada um desses fatores.

Portanto, comprova-se o quão útil a decisão multicritério pode ser para as empresas, e que uma vez bem aplicada traz benefícios às organizações na resolução de problemas complexos. Sejam eles tomadas de decisões estratégicas, escolha de insumos para produção industrial ou agrícola e redução de custos em processos produtivos. Logo, nesse estudo foi possível verificar a importância da MCDA

para duas situações, primeiro, a redução do custo com indutor de resistência, segundo um reforço da fonte de magnésio para melhorar a nutrição da cultura produzida. Para trabalhos futuros, sugere-se a análise de novos cenários, realizar análise de sensibilidade dos critérios e verificar se as alternativas de produtos agrícolas na prática foram boas escolhas para o decisor.

Referências

Alpendre, P.F.; Cabrita, M. J.; Barroso, J. M. M.; Peixe, A. V.; Fernandes, M. M. (2019). A importância da aplicação de magnésio na vinha. CVRA, Alentejo.

Bozza, G. et al. (2020). Three Decision Methods (3DM) Software Web, 1.

Caiado, R. G. G., Simão, V. G., Rangel, L. A. D., Quelhas, O. L. G., & Lima, G. B. A. (2018). Análise multicritério da ecoeficiência do transporte de cargas com veículos leves. *Transportes*, 26(1), 68–83. <https://doi.org/10.14295/transportes.v26i1.1313>

Camargo, L. R. et al. (2014). Avaliação de indutor de resistência sobre a severidade do míldio em videiras. EMBRAPA.

Cavalcanti, F. R.; Cassuba, K. F.; Fioravanço, J. C. (2020). Avaliação de produtos biológicos e um indutor de resistência no controle do míldio da videira. EMBRAPA.

Ferreira, M. A. R.; Nassur, R. De C. M. R.; Hausen, L. J. De O. Von; Souza, F. De F.; Freitas, S. T. de (2017). Degra de bagas e escurecimento da ráquis em uva de mesa. 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/160777/1/Tonetto-2-2017.pdf> Acesso em: 07 set 2023.

Gonçalves, R. W. & Pinheiro, P. R. & Freitas, M. A. de S. (2003). Métodos multicritérios como auxílio à tomada de decisão na bacia hidrográfica do rio Curu–Estado do Ceará. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Curitiba, Brasil.

Guarnieri, P. (2015). Síntese dos Principais Critérios, Métodos e Subproblemas da Seleção de Fornecedores Multicritério. *RAC*, 19(1), 1-25. <https://doi.org/10.1590/1982-7849rac20151109>

Ipea. (2022). Ipea analisa impacto da guerra entre Rússia e Ucrânia na economia mundial e brasileira. Ipea, 2022. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/11499-ipea-analisa-impacto-da-guerra-entre-russia-e-ucrania-na-economia-mundial-e-brasileira?highlight=WyJlY3JcdTAwZTJuaWEiXQ==> Acesso em: 14 set 2023.

Ishizaka, A. & Nemery, P. (2013). Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.

Jacomini, G. C. (2022). Gestão de relacionamento de clientes utilizando métodos de decisão multicritério: aplicação em uma empresa de marketing digital. 2022. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

Knierim, L. F. (2021). Emprego do método multicritério de análise hierárquica (AHP) como apoio a tomada de decisão na seleção de colhedoras de arroz irrigado. Dissertação de Pós-Graduação (Pós-Graduação em

Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria.

Lima, F. R. J. & Carpinetti, L. C. R. (2015). Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para a seleção de fornecedores. *Gest. Prod*, 22(1), 17-34. <https://doi.org/10.1590/0104-530X1190>

Leão, P. C. de S. (2020). Inovação de pesquisa científica para a viticultura tropical: contribuições da Embrapa semiárido.

Leão, P. C. de S. (2022). Catálogo de videiras (*Vitis* spp.) conservadas na Embrapa Semiárido: uvas de mesa.

Leite, B. R. P. et al. (2021). Seleção e priorização, pelo método, de projetos alinhado ao planejamento estratégico.

Machado, W., & Santos, P. (2020). Mensuração da capacidade do processo de beneficiamento de uva de mesa em um packing house: estudo de caso em uma empresa no Vale do São Francisco. *Navus - Revista de Gestão e Tecnologia*, 10, 01-15. <http://dx.doi.org/10.22279/navus.2020.v10.p01-15.1162>

Nascimento, D. V. S. (2021). Viticultura irrigada – Sinônimo de riqueza econômica no Vale do São Francisco: prospecção da comercialização da uva em meio à crise COVID 19. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural.

Pereira, A. S. (2019). Tratores para agricultura familiar: proposta de um modelo multicritério de avaliação considerando os requisitos de ergonomia e segurança. Dissertação de Pós-Graduação (Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar) – Universidade Federal de Pelotas.

Pereira, D. A. de M. et al. (2022). Seleção de Medidor de Estresse Térmico a partir dos Métodos Multicritério AHP e AHP Gaussiano. *Revista SIMEP*, 2(1), 4-18.

Santos, P. V. S., Silva, E. C., Rocha, I. T. P. & Araújo, M. A. (2025). Análise de variância como suporte para a Filosofia Lean na fabricação de gesso. *Revista Gestão em Análise (Regea)*, v. 14, p. 104-119.

Santos, P. V. S. & Leite, A. A. M. (2020). Identificação de produtos secundários da vinificação: um estudo de caso. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, p. 650-666.

Santos, P. V. S (2017). A Indústria Vinícola No Vale Do São Francisco e As Estratégias de Inserção No Mercado Nacional: Uma Revisão Bibliográfica. *Future Studies Research Journal: Trends and Strategies*, 9(3), 39–68. <https://doi.org/10.24023/FutureJournal/2175-5825/2017.v9i3.317>

Sá, L. R. O. & Lima, J. R. F. de. (2018). Desafios ao funcionamento de uma indicação geográfica: o caso das uvas de mesa e mangas do Vale do Submédio do São Francisco.

Silva, M. R. (2007). Application of the AHP Method for Evaluation of Industrial Projects. Rio de Janeiro. 128p. MSc. Dissertation – Industrial Engineering Department, PUC-Rio.

Silva, T. J. J. et al. (2016). A competitividade das exportações de manga e uva do Vale Submédio do São Francisco. *Revista de Política Agrícola*, 25 (4), 152-164.

Souza, A. S. & Jerônimo, T. de B. (2015). Revisão Sistemática das aplicações em Administração do uso dos

Métodos de Decisão Multicritério nas organizações, *Revista dos Mestrados*, 2317, 0115.
<https://doi.org/10.51359/2317-0115.2020.249439>

Souza, L. R. de et al. (2022). Avaliação da descontinuação de produto do setor de eletrodomésticos por meio do método - Analytic Hierarchy Process (AHP).

Souza Júnior, W., Santos, P., Silva, A., & Amaral, T. (2022). Abordagem matemática aplicada à problemática de escolha de fornecedor de Allium cepa. *Navus - Revista de Gestão e Tecnologia*, 12, 01-19.
<https://doi.org/10.22279/navus.2022.v12.p01-19.1776>

Tecchio, M. A. et al. (2012). Nutrição, calagem e adubação da videira Niágara. 2012.

Tedesco, A. M. et al. (2019). Avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por meio dos métodos AHP e TOPSIS. *Eng Sanit Ambient*, 26(3), 401-407.