

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

IZABELA MARIA DOS SANTOS SILVA

**VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE
BOVINOCULTURA DE LEITE NA PRODUÇÃO IRRIGADA DE MILHO PARA
SILAGEM**

**VIÇOSA - MG
2026**

IZABELA MARIA DOS SANTOS SILVA

**VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE
BOVINOCULTURA DE LEITE NA PRODUÇÃO IRRIGADA DE MILHO PARA
SILAGEM**

Relatório final, apresentado à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

Orientadora: Catariny Cabral Aleman

Coorientador: Guilherme Barbosa Reis

**VIÇOSA - MG
2026**

IZABELA MARIA DOS SANTOS SILVA

**VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE
BOVINOCULTURA DE LEITE NA PRODUÇÃO IRRIGADA DE MILHO PARA
SILAGEM**

Relatório final, apresentado à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

APROVADO: 25 de junho de 2026.

Assentimento

Izabela Maria dos Santos Silva
Autora

Catariny Cabral Aleman
Orientadora

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por me conceder força, sabedoria e coragem ao longo desta caminhada. À minha família, pelo amor, apoio e incentivo incondicional em todos os momentos, sendo fundamentais para a realização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Iolando e Maria Madalena, por todo o amor, apoio, dedicação e ensinamentos transmitidos ao longo da minha vida. Obrigada por serem minha base, meu incentivo e por nunca medirem esforços para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

Aos meus amigos, que fizeram parte da minha trajetória, oferecendo apoio, carinho e incentivo durante toda essa caminhada acadêmica.

Ao meu companheiro, João, por todo amor, paciência, compreensão e incentivo nos momentos mais difíceis, tornando esta jornada mais leve e especial.

À minha orientadora, Profa. Dra. Catariny Aleman, pela orientação, paciência, confiança e pelos conhecimentos compartilhados ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu coorientador, MSc. Guilherme Barbosa, pelo apoio, disponibilidade e contribuição essencial para a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, por toda a estrutura, suporte e conhecimentos oferecidos, fundamentais para minha formação acadêmica e para a realização deste projeto.

A Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança para superar os desafios encontrados ao longo desta caminhada e por permitir a concretização deste sonho.

“A educação é a arma mais poderosa que você pode usar para mudar o mundo.”

(Nelson Mandela)

RESUMO

SILVA, Izabela Maria dos Santos, Universidade Federal de Viçosa, junho de 2026. **Viabilidade econômica do uso da água residuária de bovinocultura de leite na produção irrigada de milho para silagem.** Orientadora: Catariny Cabral Aleman. Coorientador: Guilherme Barbosa Reis.

A escassez hídrica e a crescente necessidade por sistemas agrícolas sustentáveis têm impulsionado o reúso de água residuária como alternativa à irrigação convencional. Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade econômica do uso de água residuária da bovinocultura leiteira na fertirrigação do milho para silagem, cultivado na safrinha, na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Gado de Leite (UEPE-GL), da Universidade Federal de Viçosa (UFV). A metodologia baseou-se na estimativa da demanda hídrica, e da dose de água residuária para a cultura, além da análise comparativa de custos entre dois cenários: irrigação convencional com água bruta e fertirrigação com água residuária. Foram considerados os custos de implantação da lavoura, do sistema de irrigação, energia, manutenção e cobrança pelo uso da água. Os resultados indicaram que o sistema com água residuária apresentou custo total anual de R\$8.373,81, enquanto o sistema convencional foi de R\$11.470,38. A relação benefício/custo foi de 1,17 para o sistema com água residuária, indicando viabilidade econômica, enquanto para a irrigação convencional com água bruta apresentou B/C de 0,85, sendo considerada inviável sob as condições avaliadas. Conclui-se que o uso de água residuária da bovinocultura leiteira na produção irrigada de milho para silagem mostrou-se economicamente mais atrativo que o manejo convencional com água bruta. Além da redução dos custos de produção, a prática pode contribuir para a ciclagem de nutrientes no solo e para o aproveitamento agrícola de efluentes pecuários, desde que sua aplicação seja manejada de forma adequada quanto à demanda hídrica da cultura e à carga de nutrientes admissível no sistema solo-planta.

Palavras-chave: Fertirrigação; Reúso agrícola; Sustentabilidade; Relação benefício/custo; custo de produção.

ABSTRACT

SILVA, Izabela Maria dos Santos, Federal University of Viçosa, June 2026. **Economic feasibility of the use of dairy cattle wastewater in irrigated silage corn production.** Advisor: Catariny Cabral Aleman. Co-advisor: Guilherme Barbosa Reis.

Water scarcity and the growing need for sustainable agricultural systems have encouraged the reuse of wastewater as an alternative to conventional irrigation. This study aimed to evaluate the economic feasibility of using dairy cattle wastewater for fertigation of corn grown for silage during the second cropping season at the Teaching, Research and Extension Unit in Dairy Cattle (UEPE-GL) of the Federal University of Viçosa (UFV). The methodology was based on the estimation of crop water demand and on a comparative cost analysis between two scenarios: conventional irrigation with raw water and fertigation with wastewater. The costs of crop establishment, irrigation system, energy, maintenance, and water-use charge were considered. The results indicated that the wastewater system presented a total annual cost of R\$ 8,373.81, while the conventional system totaled R\$ 11,470.38. The benefit-cost ratio was 1.17 for the wastewater system, indicating economic feasibility, whereas conventional irrigation presented a B/C ratio of 0.85, being considered economically unfeasible under the evaluated conditions. It is concluded that the use of dairy cattle wastewater in the irrigated production of corn for silage was more economically attractive than conventional management with raw water. In addition to reducing production costs, this practice may contribute to nutrient cycling in the soil and to the agricultural use of livestock effluents, provided that its application is properly managed according to crop water demand and the admissible nutrient load in the soil-plant system.

Keywords: Fertigation; Agricultural reuse; Sustainability; Benefit-cost ratio; Production costs.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Caracterização da área	14
3.2 Caracterização da cultura.....	15
3.3 Caracterização do solo.....	15
3.4 Caracterização do efluente.....	15
3.5 Cálculo da Dose de Água Residuária	16
3.6 Demanda hídrica.....	17
3.7 Viabilidade econômica	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5 CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

O comportamento hidrológico no Brasil na última década evidencia os desafios crescentes relacionados à gestão dos recursos hídricos, especialmente em razão da recorrência de períodos de seca em diferentes regiões do país e da intensificação dos conflitos pelo uso da água. De acordo com Paiva et al. (2025), esse período foi marcado por precipitações e vazões anuais inferiores às médias históricas, além do aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos. Nesse contexto, a escassez hídrica representa um dos principais entraves para a sustentabilidade da agricultura irrigada no Brasil.

Por outro lado, o crescimento populacional e da demanda por alimentos, têm impulsionado a busca por sistemas de produção agrícola mais eficientes e sustentáveis. Segundo Antônio (2024), torna-se cada vez mais necessário adotar práticas que promovam maior eficiência no uso de insumos agrícolas, reduzindo impactos ambientais e otimizando a produtividade das culturas. Nesse cenário, o aproveitamento de águas residuárias na agricultura destaca-se como alternativa para o uso racional da água, a segurança hídrica e o fornecimento complementar de nutrientes às plantas.

A cultura do milho (*Zea mays* L.) possui elevada importância econômica no cenário agrícola nacional, destacando-se tanto pela produção de grãos quanto pela sua ampla utilização na alimentação animal, especialmente na forma de silagem para sistemas de produção pecuária. Dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025) indicam que a safra de milho em grão de 2025 apresentou produtividade média de 6.457 kg ha^{-1} , enquanto para a safra 2025/26 estima-se produtividade de 6.111 kg ha^{-1} . Apesar do elevado potencial genético da cultura, ainda existe uma diferença significativa entre a produtividade obtida em campo e o potencial produtivo real, sobretudo em função de limitações de manejo e a ocorrência de déficit hídrico (FACHINELLO; SANTOS; BESSA, 2024).

O cultivo do milho no cenário nacional, de forma geral, ocorre em duas épocas: a safra principal e a safrinha. Segundo Cruz, Pereira Filho e Duarte (2021), o plantio do milho safrinha pode ocorrer de janeiro a abril, sucedendo culturas de verão como a soja precoce ou do próprio milho. Como essa segunda safra não possui um período fixo de semeadura, qualquer atraso em sua implantação reduz o potencial produtivo e eleva drasticamente os riscos de perdas por seca ou geadas.

Embora a precipitação média anual do município de Viçosa seja de 1.289 mm (INMET, 2020), a distribuição irregular das chuvas ao longo do ano favorece a ocorrência de períodos de déficit hídrico, especialmente durante as fases críticas das culturas agrícolas. Conforme

Bergamaschi et al. (2006), o déficit hídrico nas fases de maior exigência fisiológica do milho compromete o rendimento da cultura, tornando a irrigação uma prática estratégica para garantir maior estabilidade no cultivo e o aumento de produtividade. Além disso, estratégias de irrigação suplementar contribuem para minimizar os efeitos da deficiência hídrica ao longo do ciclo da cultura (PARIZI et al., 2009).

A utilização de água residuária proveniente da bovinocultura leiteira na cultura do milho apresenta-se como uma alternativa de manejo sustentável, capaz de associar produção agrícola, reaproveitamento de resíduos e redução de custos com fertilizantes minerais. Segundo Silva (2022), uma vaca com peso vivo de 450 kg produz, em média, 45 kg de dejetos por dia. Esses resíduos, associados à água utilizada na lavagem de currais e das salas de ordenha, contribuem para a geração de água residuária em sistemas leiteiros, a qual apresenta elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes essenciais às culturas agrícolas, como nitrogênio, fósforo e potássio (ANDRADE, 2019). Dessa forma, seu uso na fertirrigação pode complementar ou substituir a adubação convencional, promovendo ganhos agronômicos e econômicos ao sistema produtivo de milho silagem.

Além do potencial de fornecimento de nutrientes, o reúso agrícola de águas residuárias contribui para a diminuição de impactos ambientais gerados pelo descarte inadequado desses efluentes. Estudos apontam que a aplicação controlada de águas residuárias pode proporcionar aumento da produtividade agrícola, melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, além da redução da poluição ambiental e dos custos de produção (MELI et al., 2002; QUEIROZ et al., 2004; BARROS et al., 2005; SANTOS et al., 2006). Como citado por Matos e Matos (2017), a destinação inadequada de resíduos líquidos da bovinocultura pode provocar sérios impactos ambientais, como processos de eutrofização de corpos hídricos, reforçando a necessidade de alternativas sustentáveis para seu manejo.

Segundo Albuquerque e Resende (2006), a cultura do milho demanda, em média, cerca de 400 a 700 mm de água ao longo do ciclo, podendo apresentar consumo diário entre 5 a 7,5 mm nos períodos de maior exigência hídrica, como espigamento e enchimento de grãos. Além da elevada demanda hídrica, a cultura apresenta alta exigência nutricional, especialmente de nitrogênio e potássio, nutrientes fundamentais para o crescimento vegetativo, formação de espigas e definição da produtividade (COELHO, 2006).

Neste contexto, a adoção da fertirrigação com águas residuárias exige critérios técnicos e ambientais rigorosos. Conforme as Resoluções nº 54/2005, nº 121/2010 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2005; 2010) e a CONAMA 503/2021, o reúso agrícola deve ser precedido pela caracterização físico-química e biológica do efluente, incluindo parâmetros

relacionados à carga orgânica, presença de microrganismos patogênicos e concentração de nutrientes e metais pesados. Para o dimensionamento desse sistema, o manejo da fertirrigação deve seguir os critérios propostos por Matos e Matos (2017), considerando o balanço nutricional da cultura e a capacidade de suporte do solo, de modo a evitar riscos de salinização, contaminação ambiental e eutrofização.

Apesar dos benefícios agrônômicos e ambientais associados ao reúso agrícola, a irrigação constitui uma tecnologia que demanda investimentos significativos em infraestrutura, energia e manejo. Nesse contexto, a avaliação econômica torna-se essencial para determinar a viabilidade da utilização de água residuária em sistemas irrigados.

Nesse contexto de desafios práticos e operacionais, a Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Gado de Leite da Universidade Federal de Viçosa (UEPE-GL/UFGV) destaca-se como um cenário representativo dessa realidade. Na unidade, o efluente gerado nas atividades de ordenha e confinamento é direcionado para tratamento e, posteriormente, utilizado na fertirrigação de áreas agrícolas destinadas ao cultivo de milho para silagem.

Embora a prática promova a ciclagem de nutrientes na propriedade, o manejo diário desse sistema expõe as complexidades técnicas de bombear e distribuir volumes expressivos de resíduos orgânicos, exigindo um maior controle para evitar a degradação do solo e demandando custos significativos com energia e manutenção da infraestrutura de irrigação. Dessa forma, a integração entre manejo de resíduos da bovinocultura leiteira e irrigação configura-se como uma estratégia potencialmente eficiente para promover sustentabilidade ambiental, racionalização do uso da água e redução dos custos de produção do milho irrigado.

Contudo, diante da escassez de estudos voltados à análise econômica da utilização de água residuária da bovinocultura leiteira em sistemas irrigados e da necessidade de avaliar a viabilidade real desse manejo em unidades de referência como a Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Gado de Leite (UEPE-GL) da Universidade Federal de Viçosa (UFGV), torna-se necessária a realização de pesquisas que avaliem a viabilidade econômica dessa prática. Essas informações são fundamentais para a tomada de decisão por parte dos produtores rurais e ampliar a adoção de tecnologias sustentáveis no meio agrícola.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Determinar a viabilidade econômica da utilização da água residuária de bovinocultura de leite na produção irrigada de milho safrinha para silagem.

2.2 Objetivos específicos

Estimar o volume de água para irrigação por aspersão convencional de água bruta e com água residuária de bovinocultura de leite para a cultura do milho silagem.

Avaliar os custos totais da implantação de um sistema de irrigação por aspersão convencional com água bruta e com água residuária de bovinocultura de leite.

Analisar a viabilidade econômica do uso de água residuária de bovinocultura de leite na produção irrigada de milho considerando a relação benefício/custo em comparação com a irrigação convencional.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área

A análise de viabilidade econômica da fertirrigação por aspersão convencional na cultura do milho destinado à produção de silagem foi realizada para uma área localizada no município de Viçosa, Minas Gerais, especificamente na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Gado de Leite da Universidade Federal de Viçosa (UEPE-GL/UFV).

A área disponível para o plantio é de 8,8 ha como mostrada na figura 1, com coordenadas centrais de 20° 46 '49,30 " de latitude sul e 42° 51' 44,27" de longitude oeste, com altitude média de 649 m. Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o município de Viçosa-MG apresenta clima do tipo Cwa, caracterizado como clima subtropical úmido/tropical de altitude, com inverno seco e verão quente (ALVARES et al., 2013). De acordo com os dados da Normal Climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020), referentes ao período de 1991 a 2020, o município de Viçosa-MG apresenta temperatura máxima média anual de 27,1 °C, temperatura mínima média anual de 15,8 °C e temperatura média anual de 20,2 °C, além de precipitação média anual de 1.261,6 mm.

Figura 1 - Localização da área a ser irrigada



Fonte: Google Earth (2026).

3.2 Caracterização da cultura

A cultura a ser implantada em uma área de 8,8 ha é o milho que será destinado à produção de silagem para alimentação animal. De acordo com o manejo pretendido pela administração da UEPE-GL, considerou-se apenas a safrinha, ocorrendo nos meses de fevereiro a maio (CRUZ, PEREIRA FILHO e DUARTE, 2021).

Como referência para a extração de nutrientes pela cultura do milho para silagem, foram considerados valores médios de remoção de 264 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 44 kg ha⁻¹ de fósforo, 170 kg ha⁻¹ de potássio, 39 kg ha⁻¹ de cálcio e 30 kg ha⁻¹ de magnésio por safra. Adotou uma densidade de plantio de 50.000 plantas por hectare conforme recomendado por Cruz, Pereira Filho e Duarte (2021). Essa densidade visa obter população adequada para o desenvolvimento da cultura e para elevada produção de biomassa.

3.3 Caracterização do solo

A área de plantio possui predominantemente solos classificados como Cambissolos e apresenta o maior desnível dentre as áreas de plantio da UEPE, com variação altimétrica de aproximadamente 45 metros entre o ponto mais alto e mais baixo (VALLE, 2024). Para determinar a disponibilidade de nutrientes no solo e subsidiar o cálculo da dose de água residuária a ser aplicada, foram utilizados dados da análise química do solo disponibilizada no trabalho de Valle (2024) para a área de estudo. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados da análise de solo da área de plantio da UEPE-GL

Densidade (t m ⁻³)	M.O. (kg kg ⁻¹)	T_{M1} (kg kg ⁻¹ ano ⁻¹)	Profundidade (m)	N_{total} (g kg ⁻¹)	$N - NH_4^+$ (mg kg ⁻¹)	$N - NO_3^-$ (mg kg ⁻¹)	P_{Total} (mg kg ⁻¹)
1,2	0,04	0,01	0,2	2,4	17,7	108,62	821,96

Fonte: Adaptado de Valle (2024).

Notas: M.O - Matéria orgânica; T_{m1} - Taxa de mineralização da matéria orgânica; N_T - Nitrogênio Total; $N - NH_4^+$ - Nitrogênio amoniacal; $N - NO_3^-$ - Nitrogênio nítrico; P_T - Fósforo total.

3.4 Caracterização do efluente

As amostras de água residuária foram coletadas na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) de Gado de Leite, localizada próxima ao Frigorífico Escola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), campus Viçosa - MG. A análise de Nitrogênio, Fósforo, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos totais, Condutividade elétrica, Oxigênio dissolvido, Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e Sódio foram

realizadas pelo laboratório Centro de Biologia Experimental Oceanus. Os demais parâmetros foram determinados com base em valores de referência da literatura para água residuária de bovinocultura, conforme descrito em Matos e Matos (2017). Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização do Efluente da UEPE-GL

Parâmetro	Valor
Fósforo total (mg L ⁻¹)	89,71
Nitrogênio amoniacal (mg L ⁻¹)	113,00
Nitrogênio orgânico (mg L ⁻¹)	99,90
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	212,90
<i>Escherichia coli</i> . (NMP 100 mL ⁻¹)	3317142,86
Demanda bioquímica de oxigênio (mg L ⁻¹)	4871,00
Demanda química de oxigênio (mg L ⁻¹)	10156,00
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	0,15
pH	7,29
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	7608
Temperatura (°C)	26,86
Sódio (mg L ⁻¹)	60,29
Razão de adsorção de sódio	0,95
Condutividade elétrica CE (µS cm ⁻¹)	4814,6
Taxa de mineralização do nitrogênio orgânico(kg kg ⁻¹ ano ⁻¹)	0,5

Fonte: Diretoria de Meio Ambiente – DAM/UFV.

3.5 Cálculo da Dose de Água Residuária

Baseado nas características da cultura, do solo e do efluente, utilizou-se o método sugerido por Matos e Matos (2017), que adota o nitrogênio como nutriente limitante para obter a dose de água residuária, conforme Equação (1):

$$D_{AR} = \frac{1000 \times [N_{abs} - (T_{M1} \times MO \times \rho_s \times p \times 10^7 \times 0,05 \times n/12)]}{[T_{M2} \times N_{org} \times (n/12) + (N_{amon} + N_{nittrato}) \times PR]} \quad (1)$$

Sendo: D_{AR} - dose de aplicação (m³ ha⁻¹) N_{abs} - absorção de N pela cultura para a obtenção da produtividade desejada (kg ha⁻¹); T_{M1} - taxa anual de mineralização da matéria

orgânica anteriormente existente no solo (0,01 a 0,15 kg kg⁻¹.ano sendo comum usar de 1 a 2 dag kg⁻¹ para material orgânico residual de cultivos agrícolas; M.O - conteúdo de matéria orgânica do solo (kg kg⁻¹); ρ_s - massa específica do solo (t m⁻³); p - profundidade do solo (m) considerada (geralmente camada orgânica se restringe aos primeiros 0,2 m de solo); n/12 - fração do ano relativa ao período de cultivo (ano); T_{M2} - taxa de mineralização do N_{org} (kg kg⁻¹.ano); N_{org} - nitrogênio orgânico (mg L⁻¹); N_{amon} - nitrogênio amoniacal (mg L⁻¹); $N_{nitrito}$ - nitrogênio nitrito (mg L⁻¹) e PR - proporção na recuperação do N mineral pela cultura (kg kg⁻¹).

3.6 Demanda hídrica

Para a determinação da evapotranspiração de referência (ET₀) referente ao ano de 2025, foram utilizados dados meteorológicos diários obtidos junto ao banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020).A estimativa da ET₀ foi realizada para o período correspondente à safreinha, totalizando um ciclo de 90 dias. Foi utilizado o método de Penman-Monteith FAO 56 para estimativa da evapotranspiração de referência, conforme descrito por Allen et al. (1998) e apresentado na Equação (2).

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (2)$$

Sendo: ET₀ = evapotranspiração de referência, em mm d⁻¹; R_n = saldo de radiação à superfície, em MJ m⁻²d⁻¹; G = fluxo de calor no solo, em MJ m⁻²d⁻¹; T = temperatura do ar a 2 m de altura, em °C; U₂ = velocidade do vento à altura de 2 m, em m s⁻¹; e_s = pressão de saturação de vapor, em kPa; e_a = pressão de vapor atual do ar, em kPa; (e_s - e_a) = déficit de pressão de vapor, em kPa; D = declividade da curva de pressão de vapor de saturação, em kPa °C⁻¹; e g = constante psicrométrica, em kPa °C⁻¹.

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi calculada de acordo com a fase fenológica da cultura, sendo adotados o coeficiente da cultura de 0,45 para a fase de emergência/germinação, 0,77 para a fase vegetativa, 1,12 para a fase de produção e 0,85 para a maturação/colheita (BERNARDO et al., 2019). Para o cálculo da ET_c, adotou-se a Equação (3), conforme descrito por BERNARDO et al., (2019):

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \quad (3)$$

Sendo: ET_c- Evapotranspiração da cultura; ET₀- Evapotranspiração de referência; e k_c – coeficiente de cultura.

Para o manejo de irrigação adotou-se um turno de rega variável, e 90 dias de ciclo de cultivo do milho silagem. Após a obtenção dos valores diários de ET_c , realizou-se o somatório da evapotranspiração da cultura ao longo do ciclo de cultivo do milho, obtendo-se a irrigação real necessária da cultura, e para irrigação total necessária, é utilizado a eficiência de 80%. Tais equações são apresentadas nas Equações (4) e (5).

$$IRN = \sum ET_c - P_t \quad (4)$$

$$ITN = \frac{IRN}{E_a} \quad (5)$$

Sendo: IRN - irrigação real necessária; E_a - eficiência do sistema e P_t - precipitação total.

3.7 Viabilidade econômica

No estudo de viabilidade econômica foram considerados dois cenários de irrigação por aspersão fixa. No primeiro cenário, a aspersão convencional com água bruta foi adotada para suprir a demanda hídrica do milho durante o ciclo, enquanto a adubação nitrogenada e fosfatada foi realizada de forma convencional no plantio e cobertura. No segundo, foi utilizada a aspersão convencional com água residuária de bovinocultura de leite, em função da carga de efluente suportada para o sistema solo-planta.

O custo do sistema de aspersão convencional foi estimado em R\$8.000,00/ha para um sistema fixo (IRRIGAT, 2025), utilizando mini Canhão Americano Senninger com intensidade de aplicação de $13,14 \text{ mm h}^{-1}$, e vazão de $11,83 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

Figura 2 - Mini Canhão Americano Senninger



Fonte: Senninger (2026)

A estimativa do custo total anual foi calculada de acordo com a Equação (6), composta pelo custo fixo anual e pelo custo variável anual (FRIZZONE, 2005). O custo fixo anual, apresentado na Equação (7), foi determinado pelo produto entre o Fator de Recuperação de Capital e o custo de aquisição e instalação do equipamento. O custo variável anual, descrito na Equação (8), será calculado a partir da soma dos custos anuais de manutenção, da água, da mão de obra e do bombeamento (MARQUES & COELHO, 2003).

$$CT_a = CF_a + CV_a \quad (6)$$

$$CF_a = PS.FRC = PS \times \frac{i \times (i+1)^n}{(i+1)^n - 1} \quad (7)$$

$$CV_a = C_{am} + C_{aw} + C_{ab} \quad (8)$$

Sendo: CT_a – custo total anual da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹); CF_a – custo fixo anual da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹); CV_a – custo variável anual da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹); PS – preço de aquisição e instalação da irrigação (R\$ ha⁻¹); FRC – fator de recuperação de capital (decimal); i – taxa de juros ao ano (decimal); n – vida útil do equipamento (anos); C_{am} – custo anual de manutenção (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹); C_{aw} – custo anual da água (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹); C_{ab} – custo anual de bombeamento (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹).

Os custos anuais de manutenção foram estimados por meio da aplicação de uma taxa de 6% sobre o custo anual de bombeamento, representando despesas com conservação, reparos e substituição de componentes do conjunto motobomba (ANTONINI et al., 2020). O mesmo percentual foi adotado para ambos os cenários devido à utilização da mesma configuração hidráulica e da mesma potência comercial instalada.

De acordo com Castro(2022), no que se refere às normas da concessionária, a Universidade Federal de Viçosa (UFV) enquadra-se no subgrupo A4 (prédios públicos) do Grupo A, pertencente à classe de Poder Público Federal. A estrutura tarifária vigente é a horo-sazonal azul, na qual são contratados valores de demanda distintos para os períodos de ponta e fora de ponta. Segundo a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG,2026), o horário de ponta corresponde ao intervalo de maior consumo de energia elétrica no sistema, compreendido entre 17h e 20h, de segunda a sexta-feira, em dias úteis, período em que as tarifas são mais elevadas. Os valores das tarifas de energia elétrica utilizados neste estudo foram obtidos na tabela tarifária disponibilizada pela concessionária para consumidores do Grupo A, modalidade horo-sazonal azul, obtendo-se um valor de 0,49 R\$ kWh⁻¹.

O custo referente à cobrança pelo uso da água foi estimado com base na Deliberação Normativa CERH-MG nº 68/2021, que estabelece os critérios gerais para cobrança pelo uso de recursos hídricos no estado de Minas Gerais (CERH-MG, 2021). Para usuários do setor agropecuário, a norma define que o valor de captação deve ser calculado pela equação 9.

$$Valor_{cap} = \left[\left(\frac{Q_{OUT} + Q_{MED}}{2} \right) \right] \times PPU \quad (9)$$

Sendo: $Valor_{cap}$ - valor anual da cobrança pela derivação, captação ou extração de água (R\$ ano⁻¹); PPU - Preço público unitário para derivação, captação ou extração outorgada (R\$ m⁻³); Q_{OUT} - volume outorgado (m³ ano⁻¹); Q_{MED} - volume medido (m³ ano⁻¹).

Foi considerado o volume anual de 27.010,03 m³ ano⁻¹, correspondente à demanda hídrica estimada para a irrigação do milho na safrinha. Para a bacia do Rio Piranga, e com a finalidade agropecuária na Zona D, foi adotado o PPU de R\$ 0,0038 m⁻³, conforme a Portaria IGAM nº 26/2025 (IGAM, 2025). Por se tratar de um estudo em fase de projeto, considerou-se o volume medido anual igual ao volume outorgado anual, conforme critério adotado para o cálculo da cobrança pelo uso da água.

O bombeamento foi calculado considerando a irrigação de 1,25 hectares por dia. A área irrigada por dia resultou em uma demanda de 153,8 m³ h⁻¹ de vazão, considerando o uso de 13 aspersores, e um tempo de irrigação de 25,1 h. Dessa forma, adotou-se as Equações (10) e (11), para estimar a potência necessária e o custo anual do bombeamento do sistema de irrigação.

$$P = \frac{Q \times H_{mt} \times 1000}{75 \times \eta} \quad (10)$$

Sendo: P - potência da bomba (cv); Q - vazão do sistema em m³ s⁻¹, η é o rendimento (decimal) e H_{mt} - altura manométrica total (m).

$$C_B = T_{uso} \times \text{kWh} \times P \quad (11)$$

Sendo: C_B - custo do bombeamento (R\$); T_{uso} - tempo de uso (h); kWh - custo do quilowatts horas; e P - potência (kW).

Vale ressaltar que o reservatório está localizado em aclave, de acordo com as curvas de níveis mostradas na Figura 3, que resultou em uma altura manométrica total estimada em 9,15 m. Para o conjunto motobomba da água residuária foi considerado uma eficiência de 60%, e no sistema com água considerou-se uma eficiência de 75%. Isso se deve pela diferença do material

bombeado e da presença do atrito no processo de bombeamento (FERREIRA et al., 2019). Apesar da diferença entre as eficiências adotadas, a potência comercial utilizada em ambas as situações foi igual a 10 cv.

Figura 3 - Curvas de níveis da propriedade



Fonte: Grupo de estudos e soluções para a agricultura irrigada - GESAI.

Já a relação benefício-custo foi calculada com base na Equação (12) conforme Frizzone (2005):

$$B/C_i = \frac{Y_i \cdot P_p}{CT_a + CT_L} \quad (12)$$

Sendo: B/C_i – relação benefício custo da irrigação; CT_a – custo total anual da irrigação (corresponde à soma dos custos fixos e variáveis relacionados à irrigação) (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹); Y_i – produtividade com irrigação (kg ha⁻¹ ano⁻¹); CT_L – custo total anual da lavoura (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹); P_p – preço recebido (R\$ kg⁻¹).

Para a análise econômica do projeto foi adotada uma taxa de juros de 12,5% a.a obtida a partir das condições de financiamento divulgadas pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2026). A taxa foi utilizada como referência para representar o custo de oportunidade do capital investido.

A vida útil técnica do sistema de irrigação foi considerada igual a 15 anos. Tal período foi adotado com base em Castro Júnior et al. (2015) e Aleman e Marques (2016), que utilizaram esse horizonte temporal em análises econômicas de projetos de irrigação de aspersão, assumindo-o como representativo da vida útil dos equipamentos empregados no sistema.

Os custos de implantação da lavoura de milho para silagem foram considerados semelhantes entre os cenários, diferenciando-se apenas quanto aos gastos com fertilizantes, os quais foram desconsiderados no sistema irrigado com água residuária da bovinocultura leiteira (EPAGRI/CEPA, 2025).

As estimativas de produtividade de massa seca (MS) do milho para silagem (*Zea mays* L.) sob regime irrigado em Viçosa, MG, foram obtidas por um estudo da Embrapa por meio do modelo computacional CSM-CERES-Maize (sistema DSSAT), sob uma série histórica de 33 anos de dados meteorológicos (MELO et al., 2019). Na janela de semeadura recomendada para Viçosa, obteve uma média de produtividade de 17.850 kg ha⁻¹ (MELO et al., 2019). A confiabilidade metodológica destas simulações foi validada pela convergência entre as produtividades projetadas pelo programa e os resultados experimentais de campo reais obtidos anteriormente (MELO et al., 2019).

Existem poucos estudos com informações relacionadas à produtividade do milho com utilização de água residuária. De acordo com Lima et al. (2023) não há diferença entre a produtividade por hectare do milho irrigado com a água residuária. Dessa forma, adotou-se a mesma produtividade da produção convencional.

O levantamento do preço da silagem de milho revelou uma grande variação dos preços, condicionada à localização geográfica, ao padrão nutricional e à modalidade de

acondicionamento do volumoso, os sites de venda consultados foram MFrural e OLX. Foram selecionados produtos vendidos próximos à região de implementação do projeto (MF RURAL, 2026; OLX, 2026).

Os dados levantados e utilizados nos cálculos da análise de viabilidade econômica estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores utilizados para o estudo de viabilidade econômica do milho silagem na Zona da Mata Mineira

Fatores	Valores
Custo da água (R\$/m ³)	0,0038
Custo da energia elétrica (R\$/kWh)	0,49
Taxa de juros (% a.a)	12,5
Taxa de manutenção (%)	6
Vida útil (anos)	15
Preço de venda (R\$ ton ⁻¹)	550,00

Fonte: Própria autora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4, a demanda hídrica do milho variou conforme os estádios de desenvolvimento e as condições climáticas locais, atingindo o pico em março (ETc de 3,09 mm d⁻¹ e IRN de 106,46 mm).

Tabela 4 - Valores de ETo, Kc, ETc e IRN mensais médios

Mês	ETo médio (mm dia ⁻¹)	Kc	ETc média mm d ⁻¹	IRN mensal (mm)
Fevereiro	4,29	0,45	2,58	90,33
Março	3,39	0,77	3,09	106,46
Abril	2,49	1,12	2,52	96,62
Mai	1,93	0,85	1,93	13,52

Fonte: Própria autora.

Esse comportamento se alinha com o estudo de Andrade, Albuquerque e Brito (2015), que destacam a influência intrínseca das condições meteorológicas e do estágio fenológico na estimativa da ETc. Nesse contexto, a utilização do coeficiente de cultura (Kc) ajustado às condições climáticas locais, como ressaltado por Carvalho et al. (2006), torna-se fundamental para evitar erros na estimativa da lâmina de irrigação. Esse manejo de irrigação é estratégico, visto que o déficit hídrico, sobretudo no florescimento, pode reduzir significativamente a produtividade (BERGAMASCHI et al., 2006) e afetar o retorno econômico da cultura irrigada (FERREIRA et al., 2021).

Na Tabela 5, observa-se que o volume estimado para a irrigação convencional foi de 27.010,03 m³, calculado a partir da IRN de 306,93 mm. Já para o sistema com água residuária, o volume estimado por ano foi de 24.133,49 m³.

Tabela 5 – Estimativa do volume de água para irrigação convencional e fertirrigação com água residuária no ciclo do milho para silagem

Tipo	IRN (mm ciclo ⁻¹)	Volume (m ³ ano ⁻¹)
Irrigação convencional	306,93	27010,03
Irrigação com água residuária	-	24133,49

Fonte: Própria autora.

A diferença entre os volumes estimados ocorre principalmente pelos critérios de dimensionamento adotados para cada cenário. Enquanto o volume da irrigação convencional foi definido com base na necessidade hídrica da cultura, o volume de água residuária foi limitado pelo aporte de nitrogênio, conforme metodologia descrita anteriormente por Matos e Matos (2017). Dessa forma, o menor volume aplicado no cenário com água residuária indica que, embora a água residuária atenda 89,3% do volume convencional, não supre integralmente a demanda hídrica da cultura, pode ser necessário a complementação com água bruta, nesse

caso seria cerca de 2.876,54 m³ de água bruta ao longo do ciclo. Dessa forma, o volume de água residuária apresentado na Tabela 5 não deve ser interpretado apenas como reposição hídrica, mas como uma lâmina de fertirrigação limitada pelo aporte de nitrogênio.

Esse critério é coerente com Otenio et al. (2018) e Hamacher et al. (2019), que destacam a importância de considerar o nitrogênio como elemento de referência no dimensionamento da aplicação de água residuária da bovinocultura leiteira. Assim, quando o volume definido pelo nutriente restritivo

Ao analisar os dados da Tabela 6, observa-se que o cenário com água residuária apresentou menor custo total anual em relação ao sistema convencional com água bruta. O custo total estimado foi de R\$11.470,38 para a irrigação convencional e de R\$8.373,81 para o sistema com água residuária, representando uma redução de aproximadamente 27,0%, e uma economia de R\$3.096,57.

Tabela 6 – Custos fixos e variáveis anuais dos sistemas com água bruta e água residuária para 1,25 ha

Cenário	Água bruta (R\$)	Água residuária (R\$)
Custo de implantação da lavoura	10.153,80	7.071,82
Custo fixo anual		
Sistema de aspersão fixo	1.125,00	1.125,00
Custo variável anual		
Bombeamento	90,46	81,09
Água	14,58	-
Manutenção	5,43	5,43
Custo total anual	11.470,38	8.373,81

Fonte: Própria autora.

A diferença entre os valores está associada, principalmente, à retirada dos custos com fertilizantes minerais no cenário com água residuária, da cobrança pela captação de água bruta e também pela redução do custo de bombeamento, em função do menor volume aplicado.

Os custos de implantação da lavoura e os custos fixos anuais do sistema de irrigação são semelhantes em ambos os cenários, uma vez que a infraestrutura utilizada é a mesma. Embora os custos variáveis possam sofrer oscilações de mercado, como variações nos preços de energia, água e manutenção, o princípio deste estudo é manter a mesma configuração hidráulica e operacional para ambas as condições avaliadas.

Os custos de implantação e manejo da lavoura já contemplam despesas operacionais relacionadas à conservação de equipamentos e demais intervenções necessárias ao longo do ciclo produtivo, conforme os levantamentos de custos apresentados por EPAGRI/CEPA, 2025.

Já a Tabela 7 apresenta os resultados da relação benefício/custo (B/C) para os sistemas avaliados. Observa-se que o sistema de água residuária apresentou viabilidade econômica, uma vez que a relação B/C foi superior a 1. De acordo com Frizzone (2005), valores de B/C maiores que 1 indicam que os benefícios gerados pela atividade superam os custos de implantação e operação, caracterizando o investimento como economicamente viável. Por outro lado, valores inferiores a 1 indicam que os custos são superiores aos benefícios obtidos, tornando o sistema de água bruta economicamente inviável nas condições analisadas.

Tabela 7 – Relação benefício/custo da aspersão com água bruta e água residuária na produção de milho para silagem

Cenário	Água bruta	Água residuária
Custo total anual (R\$)	11.470,38	8.373,81
Benefícios (R\$)	9.817,50	R\$ 9.817,50
B/C	0,85	1,17

Fonte: Própria autora.

A diferença entre B/C dos sistemas, pode ser explicada, quando analisa-se os custos fixos e variáveis da tabela 6, devido à redução dos custos operacionais relacionados ao consumo de água, bombeamento, e o custo de implementação da lavoura. Tal resultado demonstra que a substituição parcial ou total da água bruta por água residuária da bovinocultura de leite pode ser realizada sem comprometer a rentabilidade do sistema produtivo.

Portanto, o uso da água residuária da bovinocultura leiteira mostrou-se economicamente mais favorável por atuar não apenas como fonte hídrica, mas também como fonte de nutrientes para a cultura do milho para silagem.

Além da economia potencial com fertilizantes, a utilização agrícola de águas residuárias promove o reaproveitamento de resíduos gerados pela atividade pecuária, contribuindo para a ciclagem de nutrientes dentro da propriedade e reduzindo os impactos ambientais associados ao descarte inadequado desses efluentes. Sob essa perspectiva, os resultados obtidos indicam que a fertirrigação com água residuária de bovinocultura é uma alternativa tecnicamente viável e economicamente competitiva para a produção irrigada de milho destinado à silagem.

5 CONCLUSÃO

Com base nos dados analisados, conclui-se que a utilização da água residuária de bovinocultura de leite na irrigação do milho para silagem é técnica e economicamente viável. O sistema de irrigação com água residuária apresentou uma relação benefício/custo (B/C) de 1,17, resultado superior ao da irrigação convencional com água bruta de 0,85, demonstrando que a substituição da adubação mineral por efluentes pecuários não compromete a rentabilidade da atividade e se apresenta como uma alternativa atrativa ao produtor rural.

Além da viabilidade econômica, o manejo adotado na UEPE-GL/UFV consolida-se como uma estratégia sustentável, permitindo o reaproveitamento de resíduos, a ciclagem de nutrientes no solo e a mitigação de impactos ambientais associados ao descarte inadequado de efluentes. Recomenda-se, portanto, a continuidade desta prática, aliada ao monitoramento constante da qualidade do efluente e da resposta do solo, garantindo a longevidade e a segurança do sistema produtivo.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. E. P.; RESENDE, M. **Cultivo do milho: manejo de irrigação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 8 p. (Comunicado Técnico, 47). Acesso em: 16 jun. 2026.
- ALEMAN, Catariny Cabral; MARQUES, Patricia Angélica Alves. Manejo e viabilidade econômica da irrigação no cultivo de *Calendula officinalis* L. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 29–37, 2016.
- ALLEN, Richard G.; PEREIRA, Luis S.; RAES, Dirk; SMITH, Martin. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDRADE, M. G. **Caracterização e aproveitamento agrícola de águas residuárias da bovinocultura leiteira**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.
- ANDRADE, Camilo de Lelis Teixeira de; ALBUQUERQUE, Paulo Emílio Pereira de; BRITO, Ricardo Antônio Lira de. Irrigação. In: EMBRAPA MILHO E SORGO. **Cultivo do milho**. 9. ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.
- ANTÔNIO, Paz Paulo. **Fertirrigação no cultivo da beterraba utilizando água residuária da bovinocultura leiteira tratada em um sistema orgânico de produção**. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.
- ANTONINI, Jorge Cesar dos Anjos; OLIVEIRA, Alexsandra Duarte de; KINPARA, Daniel Ioshiteru. **Custo médio da irrigação localizada no cultivo de palma de óleo no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2020. 27 p.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **BNDES: o banco nacional do desenvolvimento**. Rio de Janeiro, RJ: BNDES, [2026].
- BARROS, F. M.; MARTINEZ, M. A.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T.; SILVA, D. D. Características químicas do solo influenciadas pela adição de água residuária da suinocultura. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 47-51, 2005. Suplemento.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. **Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.
- BERNARDO, Salassier; MANTOVANI, Everardo Chartuni; SILVA, Demetrius David da; SOARES, Antônio Alves. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019. 545 p. ISBN 9788572696104.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 9 mar. 2006.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução CNRH nº 121, de 16 de dezembro de 2010**. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso agrícola e florestal de água residuária. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 9 mar. 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 503, de 14 de dezembro de 2021**. Define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 16 dez. 2021.

CARVALHO, D. F. de; CRUZ, E. S. da; SILVA, W. A. da; SOUZA, W. de J.; ALVES SOBRINHO, T. Demanda hídrica do milho de cultivo de inverno no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 112-118, jan./mar. 2006.

CASTRO, Isaque Rodrigues de. **Estudo de implantação e dimensionamento de usina solar fotovoltaica de 5,68 MWp como unidade geradora e comercializadora na CCEE**. 2022. 67 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2022.

CASTRO JÚNIOR, W. L.; OLIVEIRA, R. A. de; SILVEIRA, S. de F. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Viabilidade econômica de tecnologias de manejo da irrigação na produção do feijão-caupi, na região dos Cocais-MA. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 406-418, maio/jun. 2015. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agríc.v35n3p406-418/201.

CEMIG. **Tarifas vigentes**. Belo Horizonte: CEMIG, 2026. Acesso em: 6 maio 2026.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Circular Técnica, 78). Acesso em: 20 abr. 2026.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2025/26**. Brasília: Conab, 2025.

CRUZ, José Carlos; PEREIRA FILHO, Israel Alexandre; DUARTE, Aildson Pereira. **Milho safrinha**. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

EPAGRI/CEPA. Custo de produção de milho para silagem 2025. Florianópolis: Epagri/Cepa, 2025. Acesso em: 15 jun. 2026.

FACHINELLO, M. R.; SANTOS, F. B.; BESSA, M. M. Potencial produtivo e limitações hídricas da cultura do milho no Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 18, n. 2, p. 45-60, 2024.

FERREIRA, Reginaldo Amaro; NUNES, Aline Pereira Leite. Análise experimental dos efeitos da presença de espuma no bombeamento centrífugo de polpa de minério de ferro. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, São Paulo, v. 18, e2182, 2021. DOI: 10.4322/2176-1523.20212182

FERREIRA, A. M.; PARIZI, A. R. C.; GOMES, A. C. S.; CHUQUEL, M. D. L.; SEGABINAZZI, E. M.; PONTE, V. H. S. Desempenho produtivo e retorno econômico do milho irrigado por aspersão. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial Sul, v. 1, n. 2, p. 381-396, jul. 2021.

FRIZZONE, J. A. **Análise de decisão econômica em irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 2005. 477 p. (Série Didática, 17).

GOOGLE EARTH. **Localização da área a ser irrigada na UEPE-GL/UFV**. Viçosa, MG, 2026. Imagem de satélite adaptada pela autora.

HAMACHER, L. S.; HÜTHER, C. M.; SILVA, L. D. B.; CARMO, D. F.; COUTADA, J. M.; SCHTRUK, T. G.; PEREIRA, C. R.; CECCHIN, D.; MACHADO, T. B.; PINHO, C. F. Aproveitamento de água residuária de bovinocultura leiteira no cultivo de citronela: efeitos na atividade fotoquímica e na biomassa. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 53, p. 117-133, 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Portal do INMET**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2025. Acesso em: 15 abr. 2026.

IRRIGAT SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO. **Irrigat Sistemas de Irrigação: fábrica de carretéis**. Cruzeiro do Sul, RS, [2026?]. Disponível em: <https://irrigat.com.br>. Acesso em: 8 jun. 2026.

LIMA, Allan Rodrigo Simão de; CABRAL FILHO, Fernando Rodrigues; ANDRADE, Christiano Lima Lobo de; TEIXEIRA, Marconi Batista; ALVES, Daniely Karen Matias. Produtividade do milho em diferentes manejos de adubação com água residuária de suinocultura. **Brazilian Journal of Science**, Rio Verde, v. 2, n. 1, p. 53-62, 2023. DOI: 10.14295/bjs.v2i1.245.

MARQUES, P. A. A.; COELHO, R. D. Estudo da viabilidade econômica da irrigação da pupunheira (*Bactris gasipaes* H.B.K.) para Ilha Solteira - SP, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 291-297, 2003. Acesso em: 15 jun. 2026.

MATOS, Antonio Teixeira de; MATOS, Mateus Pimentel de. **Disposição de águas residuárias no solo**. 1. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. 371 p. ISBN 9788572695732.

MELI, Salvatore; PORTO, Maurizio; BELLIGNO, Adalgisa; BUFO, Sabino Aurelio; MAZZATURA, Angelo; SCOPA, Antonio. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean conditions. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 285, n. 1-3, p. 69-77, fev. 2002. DOI: 10.1016/S0048-9697(01)00896-8.

MELO, Marina Luciana Abreu de; CAMILO, Jennifer Alves; ANDRADE, Camilo de Lelis Teixeira de; AMARAL, Tales Antônio; TIGGES, Christoph Hermann Passos. **Simulação da produtividade potencial de silagem de milho em municípios de Minas Gerais**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. 23 p. (Documentos, 234).

MF RURAL. **Silagem de milho em Minas Gerais à venda com preço**. Marília, SP: MF Rural, [2026]. Disponível em: <https://www.mfrural.com.br/produtos/3-360/nutricao-animal-silagem-de-milho/minas-gerais>. Acesso em: 9 jun. 2026.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais. **Deliberação Normativa CERH-MG nº 68, de 22 de março de 2021**. Estabelece critérios e normas gerais sobre a cobrança pelo uso dos recursos hídricos em bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais, e dá outras providências. Belo Horizonte, MG: CERH-MG, 2021.

MINAS GERAIS. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Portaria IGAM nº 26, de 9 de dezembro de 2025**. Estabelece os preços unitários para o cálculo da cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais para os usos durante o ano de 2025. *Minas Gerais: Diário do Executivo*, Belo Horizonte, p. 9, 11 dez. 2025.

OLX. **Venda de silagem de milho**. Santa Rita de Ibitipoca, MG, [2026?]. Disponível em: https://mg.olx.com.br/regiao-de-juiz-de-fora/agro-e-industria/producao-rural/venda-de-silagem-de-milho-1512304495?lis=listing_12180. Acesso em: 8 jun. 2026.

OSTI, A. M.; DALLACORT, R.; TIEPPO, R. C.; GRZEBIELUCKAS, C.; CONCEIÇÃO, A. M. Rentabilidade do milho e do feijão submetido a diferentes lâminas de irrigação em Mato Grosso. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, n. 4, p. 505-518, 2019.

OTENIO, M. H.; MACIEL, A. M.; SILVA, J. B. G.; PAULA, V. R. de; NASCIMENTO, A. de M. **Aplicação de biofertilizante de água residuária da bovinocultura leiteira na cultura do milho**. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2018. (Comunicado Técnico, 86).

PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias de; COLLISCHONN, Walter; SOUZA, Saulo Aires de; ARAÚJO, Alexandre Abdalla (org.). **Extremos hidrológicos**. Brasília, DF: ANA; IPH, 2025. 153 p. il. (Impacto da mudança climática nos recursos hídricos do Brasil, v. 2). ISBN 9786588101919. Acesso em: 06 maio 2026.

PARIZI, Ana Rita Costenaro; ROBAINA, Adroaldo Dias; GOMES, Ana Carla dos Santos; SOARES, Fátima Cibele; RAMÃO, Cleiton José; PEITER, Márcia Xavier; CALEGARO, Leonardo. Efeito de diferentes estratégias de irrigação suplementar sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 254-267, 2009. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2009v14n3p254-267>. Acesso em: 8 jun. 2026.

QUEIROZ, F. M. et al. Características químicas do solo e absorção de nutrientes por gramíneas em rampas de tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Revista engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 2, p. 77- 90, abr./jun. 2004.

SANTOS, S. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C.; BATISTA, R. O.; MELO, J. C. Contaminação microbiológica do solo e dos frutos de cafeeiros fertirrigados com esgoto sanitário. **Revista engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 1, p. 16-22, jan./mar. 2006b.

SANTOS, S. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C.; BATISTA, R. O.; MELO, J. C. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. **Revista engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 14 n. 1, p. 32-38, jan./mar. 2006a.

SILVA, K. P. **Determinação do parâmetro velocidade para dimensionamento de tanques de sedimentação utilizados no manejo de águas residuárias em unidades de produção animal**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2022.

VALLE, Isabela Silva Kneipp do. **Impacto da disposição continuada de efluentes da bovinocultura de leite sobre o nitrogênio e o fósforo no solo.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2024.