

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LUCAS PLATERO CABREIRA

VIABILIDADE ECONÔMICA DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL E BALANÇO DE
NUTRIENTES COM CULTIVOS DE MILHO, FEIJÃO-CAUPI E SOJA

CHAPADÃO DO SUL- MS
AGOSTO 2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LUCAS PLATERO CABREIRA

VIABILIDADE ECONÔMICA DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL E BALANÇO DE
NUTRIENTES COM CULTIVOS DE MILHO, FEIJÃO-CAUPI E SOJA

Orientador: Prof. Dr. Job Texeira de Olibeira
Coorientador Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Mato Grosso do Sul, como
parte dos requisitos para obtenção do
título de mestre em agronomia.

Área de concentração: Produção
Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL - MS
AGOSTO 2023



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Lucas Platero Cabreira

ORIENTADOR: Dr. Job Teixeira de Oliveira

TÍTULO: Viabilidade econômica de irrigação por pivô central e balanço de nutrientes com cultivos de milho, feijão-caupi e soja

AVALIADORES:

Prof. Dr. Job Teixeira de Oliveira

Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke

Prof. Dr. Rubens Alves de Oliveira

Chapadão do Sul, 04 de agosto de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Job Teixeira de Oliveira, Professor do Magisterio Superior**, em 04/08/2023, às 14:29, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Felipe Ratke, Professor do Magisterio Superior**, em 04/08/2023, às 14:41, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rubens Alves de Oliveira, Usuário Externo**, em 04/08/2023, às 15:14, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

DEDICATÓRIA

À minha esposa Amanda Cássia da Silva Costa, que sempre esteve a meu lado, rezando, incentivando e dando muita força para que eu não desistisse. À minha mãe Airta Platero de Souza Cabreira, pelos ensinamentos de vida e constante apoio em meus estudos, uma pessoa que acreditou muito em meus esforços e que sempre me disse que eu iria conseguir. Ao meu irmão Marcelo Platero Cabreira, com quem sempre pude contar, pela amizade, incentivo e carinho. E principalmente à minha filha Maria Cecília Platero Costa Cabreira, um grande presente de Deus, por quem eu luto e me dedico todos os dias.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À UFMS / CPCS, uma grande escola formadora de profissionais que alavancam o crescimento deste país!

Ao meu orientador, Professor Dr. Job Texeira de Oliveira, pelos valiosos ensinamentos acadêmicos, dedicação, bom humor, críticas e amizade.

Ao meu coorientador, Professor Dr. Rafael Felipe Ratke, por sua valiosa amizade, ajuda na compilação dos dados e constante colaboração desde a minha entrada no mestrado até a conclusão do curso.

Ao professor Dr. Fábio Henrique Rojo Baio, pelas correções importantes na qualificação.

A todos os professores da UFMS do Programa de Pós-Graduação em Agronomia do campus CPCS, que foram indispensáveis para o meu crescimento profissional e intelectual.

Aos colegas do mestrado, pela oportunidade de ter compartilhado um pouco de nossos caminhos juntos, e aos demais colaboradores que contribuíram com meu trabalho e que sempre desejaram meu bem, pois acredito que somos a soma das pessoas com quem convivemos à nossa volta.

Por fim, meu muito obrigado, em especial, ao senhor Darci Boff, que disponibilizou a área do experimento para que eu pudesse desenvolver este trabalho! Que Deus lhe retribua em dobro!

Obrigado por tudo!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS.....	8
SUMÁRIO.....	5
1 INTRODUÇÃO.....	8
2 REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 Aspectos gerais da cultura do feijão-caupi	9
2.2 Consorciação de culturas	10
2.3. Consórcio de feijão-caupi	11
3 REFERÊNCIAS	12
4 CAPÍTULO 1 - VIABILIDADE ECONÔMICA DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL COM CULTIVOS DE MILHO, FEIJÃO-CAUPI E SOJA EM SOLOS ARENOSOS	15
Resumo	15
Abstract	16
1 Introdução	17
2 Material e Métodos	17
3 Resultados e discussão	20
4 Conclusão.....	24
5 Referências.....	24
5 CAPÍTULO 2 - BALANÇO DE NUTRIENTES NO SOLO E PRODUTIVIDADE DE MILHO CONSORCIADO COM CULTURAS DE COBERTURA E FEIJÃO-CAUPI EM SUCESSÃO.....	27
Resumo	27
Abstract	28
1 Introdução	29
2 Material e Métodos	30
3 Resultados e discussão	33
4 Conclusão.....	41
5 Referências.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Temperatura média e precipitação mensais de 2017 a 2018.....	30
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físico-hídricas do solo da área experimental.....	18
Tabela 2 – Características químicas do solo da área experimental	18
Tabela 3 – Porcentagem de investimentos, atividades e insumos no custo total de produção milho, feijão-caupi e soja, irrigados por pivô central em 50 ha, em Paraíso das Águas – MS	21
Tabela 4 – Indicadores econômicos em trinta anos de investimento em sistemas de irrigação por pivô central com 50 hectares com cultivo de milho, feijão-caupi e soja, em Paraíso das Águas – MS.....	22
Tabela 5 – Indicadores econômicos do sistema de irrigação por pivô central 50 ha nas safras de milho grão, feijão, soja na região de Paraíso das Águas – MS.....	23
Tabela 6 – Análise química e granulometria do solo na área do estudo.....	30
Tabela 7 – Ciclagem, Exportação e Balanço de Nitrogênio (N) no cultivo de milho consorciado com culturas de cobertura e feijão-caupi em sucessão. Alvorada do Gurgueia - PI, 2017/2018.....	33
Tabela 8 – Ciclagem, exportação e balanço de Fósforo (P) no cultivo de milho consorciado com culturas de cobertura e feijão-caupi em sucessão	34
Tabela 9 – Ciclagem, exportação e balanço de Potássio (K) no cultivo de milho consorciado com culturas de cobertura e feijão-caupi em sucessão	36
Tabela 10 – Produtividade de grãos de milho e palhada dos consórcios no cultivo de milho consorciado com culturas de cobertura e feijão-caupi em sucessão.....	38

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) vem se expandindo para outras regiões do Brasil, principalmente para a região Centro-Oeste, em razão da sua ampla adaptabilidade às condições tropicais, baixo custo de produção e versatilidade nos sistemas produtivos.

Em decorrência do intenso trabalho de melhoramento aplicado à cultura nos últimos anos, as cultivares de feijão-caupi foram capazes tanto de se adaptar às diversas condições edafoclimáticas do país, como de se encaixar nos diversos sistemas de produção agrícola do Brasil.

Na região dos cerrados, principalmente quando é cultivado em forma de safrinha, o feijão-caupi tem um custo muito competitivo, fator que tem feito aumentar o interesse dos produtores pela cultura. Além disso, a produção é de alta qualidade, o que possibilita que o produto seja bem aceito por comerciantes, agroindústrias, distribuidores e consumidores (FREIRE FILHO et al., 2017).

Em virtude de ser uma leguminosa, a cultura se apresenta como uma excelente alternativa para os sistemas consorciados pela sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio, que contribui para o aporte deste nutriente no solo, expandindo-o para as demais culturas em consórcio, além de diversos outros benefícios nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Entretanto, apesar de ser uma cultura de alta plasticidade e adaptação a uma ampla faixa de ambientes, as particularidades ocorridas dentro de cada ambiente produtivo remetem a condições diferentes tanto para a cultura em si, quanto para o sistema. E quando consorciado, as interações interespecíficas ocorridas com os indivíduos, assim como os efeitos da interação entre solo e planta, resultam em condições que alteram completamente o ambiente produtivo, sendo necessários avanços nos estudos para a evolução da cultura no país.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da cultura do feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) pertence à classe das Dicotiledôneas, família Fabaceae, e tem como centro de origem a região oeste da África (FREIRE FILHO et al., 2017).

As plantas de feijão-caupi se caracterizam como herbáceas anuais, que crescem até 80 cm de altura (DOVALE et al., 2017), de crescimento determinado ou indeterminado, de porte ereto, semiereto, semiprostrado ou prostrado, com ciclos reprodutivos variando de 60 a 90

dias (FREIRE FILHO et al., 2005), podendo sofrer variações em razão da cultivar utilizada e do clima do local (DOVALE et al., 2017).

A cultura é flexível às diversas regiões do país, desde que apresentem condições edafoclimáticas favoráveis a seu crescimento e desenvolvimento. Solos bem drenados (OLIVEIRA et al., 2017), de textura franca (franco-arenosa a franco argilosa), com certo teor de matéria orgânica, leves, soltos, arejados, profundos, planos ou com pouca declividade, de relativa fertilidade natural, sem problemas de salinidade e levemente ácidos (ALBÁN, 2012; MESQUITA; PINHO; BRAGA, 2017).

Quanto ao clima, a temperatura é o fator climático de maior relevância para a cultura, por ser capaz de interferir diretamente no desenvolvimento vegetativo, na floração e na sua nodulação (ANDRADE JÚNIOR et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2017). As maiores produtividades do feijão-caupi estão nos intervalos de 20 °C e 35 °C, porém temperaturas entre 18 e 40 °C estão dentro do intervalo em que a cultura pode se desenvolver e produzir satisfatoriamente (ALBÁN, 2012). Temperaturas inferiores a 18 °C aumentam o ciclo da planta pelo prolongamento do desenvolvimento vegetativo e atraso no início da floração, enquanto o abortamento de flores e o mau desenvolvimento das vagens e grãos são observados em temperaturas acima de 37 °C (OLIVEIRA et al., 2017).

A necessidade hídrica da cultura varia de 300 a 450 mm no ciclo (OLIVEIRA et al., 2017), sendo que as limitações em termos hídricos estão mais relacionadas à distribuição do que à quantidade total de chuvas. A maior demanda hídrica da cultura ocorre a partir da floração e se estende até antes da colheita, todavia a ocorrência de déficit antes da floração e durante a fase de enchimento de grãos pode causar quebra de produtividade do feijão-caupi (ANDRADE JÚNIOR et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2017).

2.2 Consorciação de culturas

A consorciação envolve duas ou mais espécies de culturas crescendo juntas e coexistindo por um tempo (BROOKER et al., 2015), esperando obter, em níveis produtivos, o máximo de benefícios oriundos da interação entre estas espécies.

Os processos ocorridos com a consorciação permitem maior disponibilidade de recursos, como, por exemplo, a secreção de ácidos orgânicos e fosfatases por algumas culturas para aumentar a disponibilidade de P em solos ácidos (ZHANG et al., 2010) ou transferência de N de leguminosas fixadoras de nitrogênio para culturas concomitantes (BEDOUSSAC et al., 2015).

Além disso, os mecanismos do consórcio abrangem outros benefícios, incluindo a atração de polinizadores e a proteção contra pragas e doenças (BROOKER et al., 2015) e aumento da diversidade biológica do solo, propiciando microrganismos benéficos, que contribuem com o aumento de produtividade das culturas (BENNETT et al., 2013).

Os consórcios mais comuns são aqueles com a utilização de gramíneas, as quais são destaque na integração de modelos de rotação de culturas, proporcionando alta produção de fitomassa, elevada relação C/N, o que garante a cobertura do solo por um período prolongado (MEDINA et al., 2013; MENDONÇA et al., 2015).

Por outro lado, as leguminosas estabelecem um manejo favorável quanto ao aumento do teor e disponibilidade de N nos solos, bem como ao potencial de controle de nematoides, porém têm a desvantagem da sua rápida decomposição, o que proporciona menor cobertura ao solo (TEIXEIRA et al., 2009).

Desta forma, o consórcio entre leguminosas e gramíneas é uma alternativa para reduzir os problemas com o monocultivo das plantas de cobertura, pois deixa a relação C/N intermediária, o que proporciona cobertura de solo e liberação de nutrientes de forma constante por maior período de tempo (SORATTO et al., 2012).

2.3. Consórcio de feijão-caupi

Entre os consórcios de leguminosas, o feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] pode ser uma boa opção por ter potencial, tanto para produzir quantidade consideravelmente maior de forragem nutritiva em consórcio com culturas como milho, sorgo, milheto (EWANSIHA et al., 2014), como para promover benefícios na fixação biológica de nitrogênio e acúmulo de biomassa sobre o solo (IQBAL et al., 2021).

Além disso, o feijão-caupi tem potencial para tolerar sombra e suportar seca moderada, juntamente com a fixação de nitrogênio atmosférico, o que favorece sua utilização como cultivo consorciado com cereais (OSENÍ; ALIYU, 2010). Sob este ponto de vista, o feijão-caupi é interessante como opção de baixo risco para a intensificação de sistemas de cultivo, pois é adaptado ao estresse hídrico sob o qual muitas culturas não crescem bem (KYEI-BOAHEN et al., 2017).

Quando integrado em sistemas de rotação de culturas, o feijão-caupi promove acúmulo de matéria orgânica no solo e fixação de carbono e nitrogênio. Isso, por sua vez, promove a fertilidade do solo e melhora suas características físicas, incluindo a infiltração de água e a capacidade de retenção (SÁNCHEZ-NAVARRO et al., 2019).

No cultivo consorciado, a fixação de nitrogênio atmosférico é afetada, sendo, em média, de 36 kg N ha⁻¹ e de 57 kg N ha⁻¹ em cultivos consorciados e monocultivos, respectivamente (NAMATSHEVE et al., 2020), em razão do efeito de competição e da redução no acúmulo de matéria seca desta leguminosa em situação de consórcio.

Assim, a inclusão desta leguminosa adiciona biomassa aos sistemas de cultivo, melhorando o teor de carbono, nitrogênio e fósforo do solo, principais determinantes da sua fertilidade (KERMAH et al., 2018).

3 REFERÊNCIAS

ALBÁN, M. Manual de cultivo de feijão-caupi. 1. ed. Piura: Asociación de productores agropecuarios del distrito de Morropón, 2012.

ANDRADE JUNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J. Clima. In: BASTOS, E. A. (Ed.). **Cultivo de Feijão-Caupi**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

BEDOUSSAC, L.; JOURNET, E. P.; HAUGGAARD-NIELSEN, H.; NAUDIN, C.; CORREHELLOU, G.; JENSEN, E. S.; PRIEUR, L.; JUSTES, E., Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. **Agronomy for Sustainable Development**. v. 35, p. 911–935, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0277-7>

BENNETT, A. E.; DANIELL, T. J.; WHITE, P. J. Benefits of breeding crops for yield response to soil organisms. In: de BRUIJN, F. J. **Molecular microbial ecology of the rhizosphere**, v. 1. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 17–27, 2013. <https://doi.org/10.1002/9781118297674.ch3>

BROOKER, R.W.; BENNETT, A. E.; CONG, W. F.; DANIELL, T. J.; GEORGE, T. S.; HALLETT, P. D. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. **New Phytologist**, v. 206, n.1, p.107–117, 2015. <https://doi.org/10.1111/nph.13132>

DOVALE, J. C.; BERTINI, C. H. C. M.; TEOFILO, E. M.; PINHEIRO, M. S.; MELO, L. F. Botânica e Fenologia. In: DOVALE, J. C.; BERTINI, C. H. C. DE M.; BORÉM, A. (Eds.). **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2017. p. 35–51.

EWANSIHA, S.U.; KAMARA, A. Y.; CHIEZEY, U. F. Cowpea response to planting date under different maize maturity types in West African Sudan savannah. **Journal of Tropical Agriculture**, v. 52, n.139–144, 2014.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; RODRIGUES, J. E. F. L.; VIEIRA, J. F. M. J. A cultura: aspectos socioeconômicos. In: DOVALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2017. p. 9–34.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. DE A.; RIBEIRO, V. Q. Feijão-caupi: avanços tecnológicos. 1. ed. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2005. p. 29–75.

IQBAL, M. A.; IQBAL, A.; AHMAD, Z.; RAZA, A.; RAHIM, J.; IMRAN, M. SHEIKH, U. A.A.; MAQSOOD, Q.; SOUFAN, W.; SAHLOUL, N. M. A.; SOROUR, S.; SABAGH, A. El. Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] herbage yield and nutritional quality in cowpea-sorghum mixed strip intercropping systems. **Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias**, v. 12, n. 2, p. 402-418, 2021. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i2.4918>

KERMAH, M., FRANKE, A. C., AHIABOR, B. D. K., ADJEI-NSIAH, S., ABAIDOO, R. C., GILLER, K.E. Legume-maize rotation or relay? Options for ecological intensification of small holder farms in the Guinea Savanna of Northern Ghana. **Experimental Agriculture**, v. 19, 1–19, 2018. <https://doi.org/10.1017/S0014479718000273>

KYEI-BOAHEN, S., SAVALA, C. E. N., CHIKOYE, D., ABAIDOO, R., KYEI-BOAHEN, S., 2017. Growth and yield responses of Cowpea to inoculation and phosphorus fertilization in different environments. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00646>

MEDINA, C. C.; NEVES, C. S.; AITA, C.; BORDIN, I.; PRETI, E.; ZACCHEO, P. V.; AGUIAR, R. S.; URQUIAGA, S. Aporte de matéria seca por raízes e parte aérea de plantas de cobertura de verão. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 675-682, 2013. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744120040>.

MENDONÇA, V. Z. de; MELLO, L.M. de; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, É. H.; PEREIRA, F. C. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 39, p. 183-193, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20150666> .

MESQUITA, R. O.; PINHO, J. L. N. de; BRAGA, M. de M. Preparo do solo e plantio. In: DOVALE, J. C.; BERTINI, C. H. C. M.; BORÉM, A. **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2017.

NAMATSHEVE, T.; CARDINAE, R.; CORBEELS, M.; CHIKOWO, R. Productivity and biological N₂-fixation in cereal-cowpea intercropping systems in sub-Saharan Africa. A review. **Agronomy Sustainable**. v. 40, 1–12, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00629-0>.

OLIVEIRA, A. B. Exigências edafoclimáticas e ecofisiológicas. In: DOVALE, J. C.; BERTINI, C. H. C. M.; BORÉM, A. **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2017. p. 52–69.

OSANI, T.O.; ALIYU, I.G. Effect of row arrangements on sorghum-cowpea intercrops in the semi-arid savannah of Nigeria. **International Journal of Agriculture and Biology**, v.12, n.1, p.137-14, 2010.

SÁNCHEZ-NAVARRO, V.; ZORNOZA, R.; FAZ, Á.; FERNÁNDEZ, J. A. Comparing legumes for use in multiple cropping to enhance soil organic carbon, soil fertility, aggregates stability and vegetables yields under semi-arid conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p.835–841, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.065>

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C. H. M. da; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A.; Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milho, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.10, p.1462-1470, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012001000008>

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; ANDRADE, M. J.; SILVA, C. A.; PEREIRA, J. M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum-Agronomy**. v. 31, p.647-653, 2009. <https://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v31i4.1356>

ZHANG, F.; SHEN, J.; ZHANG, J.; ZUO, Y.; LI, L.; CHEN, X. Rhizosphere processes and management for improving nutrient use efficiency and crop productivity: implications for China. **Advances in Agronomy**, v. 107: 1–3, 2010. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)07001-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)07001-X)

4 CAPÍTULO 1 - VIABILIDADE ECONÔMICA DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL COM CULTIVOS DE MILHO, FEIJÃO-CAUPI E SOJA EM SOLOS ARENOSOS

Resumo

O uso da irrigação aumenta a produtividade, reduz a vulnerabilidade à seca e à variação climática e amplia a produção agrícola. O objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade econômica da implantação de irrigação por pivô central em cultivos de milho, feijão-caupi e soja. Para este estudo, considerou-se uma área irrigada por pivô central de 50 ha, simulando o cultivo rotativo na região de Paraíso das Águas, MS. Considerou-se a ET₀ média histórica da região de 8 mm dia⁻¹ para dimensionamento dos projetos e manejo da irrigação. Foi feito o cálculo de indicadores financeiros em função de coeficientes técnicos de cultivo para a região. De maneira geral, observou-se que, em média, 62,1% dos custos totais de produção do sistema agrícola de milho, feijão-caupi e soja são destinados ao preparo, ao plantio, aos tratos culturais e à colheita, e 34,8%, à irrigação (investimento com equipamentos hidráulicos e infraestrutura, energia, depreciação e manutenção). A rentabilidade (VPL) das safras de milho, de feijão-caupi e de soja foi de R\$ 360,33, R\$ 1.798,41 e R\$ 2.052,97 ha⁻¹, respectivamente, um total R\$ 4.211,71 ha⁻¹ ano⁻¹, valor que proporciona ganho para o produtor, gerando emprego e desenvolvimento para a região. A implantação de um sistema de irrigação por pivô central 50 ha é viável para o cultivo de milho, feijão-caupi e soja, considerando um horizonte de 4 anos e 9 meses de retorno do capital investido nas condições do estudo.

Palavras-chave: Custo de produção. Irrigação de precisão. Rentabilidade econômica.

CHAPTER 1 - ECONOMIC FEASIBILITY OF CENTER PIVOT IRRIGATION WITH CORN, COWPEA AND SOYBEAN CROPS IN SANDY SOILS

Abstract

The use of irrigation increases productivity, reduces vulnerability to drought and climate variation, and increases agricultural production. The objective of this work was to verify the economic viability of the implantation of center pivot irrigation in corn, cowpea and soybean crops. For the study, an area irrigated by a center pivot of 50 ha was considered, simulating rotational cultivation in the region of Paraíso das Águas, MS. The historical average ET_0 of the region of 8 mm day^{-1} was considered for project design and irrigation management. Financial indicators were calculated based on technical cultivation coefficients for the region. In general, it was observed that, on average, 62.1% of the total production costs of the agricultural system of corn, cowpea and soybeans are allocated to preparation, planting, cultural practices and harvesting, and 34.8% are allocated to irrigation (investment in hydraulic equipment and infrastructure, energy, depreciation and maintenance). The profitability (NPV) of the corn, cowpea and soybean crops were R\$ 360.33, R\$ 1798.41 and, R\$ 2052.97 ha^{-1} respectively. The same as R\$ 4063.86 $\text{ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. Value that provides gain for the producer, generating employment and development for the region. The implementation of a 50 ha center pivot irrigation system is feasible for the cultivation of corn, cowpea and soybeans, considering a 4-year and 9 months horizon of return on capital investment, under the conditions of the study.

Keywords: Cost of production. Precision irrigation. economic profitability

1 Introdução

A irrigação por pivô central é uma técnica utilizada na agricultura para garantir a produção de cultivos em regiões com baixa disponibilidade de água. A viabilidade econômica é um dos fatores mais importantes a serem considerados na tomada de decisão para investimentos em agricultura irrigada. Dessa forma, a avaliação dos custos e benefícios envolvidos na implantação e na operação de sistemas de irrigação por pivô pode fornecer informações valiosas para os agricultores. A escolha dos cultivos também é um fator importante a ser considerado na análise da viabilidade econômica da irrigação por pivô central (OLIVEIRA et al., 2020).

Análise econômica comparando o milho irrigado com o milho de sequeiro possibilitou aos pesquisadores concluir que o milho irrigado apresentou maior rentabilidade líquida em razão do aumento dos rendimentos e redução dos riscos associados à falta de água. (GURETZKY et al., 2014).

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), também conhecido como feijão-de-corda ou feijão macassar, é a principal cultura de subsistência das regiões Norte e Nordeste do Brasil, especialmente no Semiárido Nordestino. O feijão-caupi é uma alternativa de diversificação de produtos na propriedade agrícola, sendo mais uma opção de rentabilidade para o produtor rural (COSTA et al., 2019).

A produtividade da soja obtida na safra 2022/2023 seguiu a tendência dos últimos levantamentos, sendo estimada em 3.537 kg ha⁻¹, 24% superior à da safra 2021/22, com produtividades recordes em vários estados, totalizando 44,03 milhões de hectares plantados (CONAB, 2023).

O uso da irrigação aumenta a produtividade, reduz a vulnerabilidade à seca e à variação climática e amplia a produção agrícola. Entre as técnicas de irrigação, a de pivô central tem sido amplamente utilizada em grandes áreas irrigadas em todo o mundo. A viabilidade econômica da irrigação por pivô central é um aspecto importante a ser considerado na tomada de decisão para os agricultores que desejam adotar essa técnica (GAVA et al., 2023).

O objetivo desse trabalho é analisar a viabilidade econômica da implantação de irrigação por pivô central para os cultivos de milho, feijão-caupi e soja em solos arenosos.

2 Material e Métodos

Para o estudo de viabilidade econômica de irrigação por pivô central com cultivo de milho, feijão-caupi e soja, foram avaliados e estudados sucessivos custos de produção, tratamentos fitossanitários, operações agrícolas em plantios nas fazendas do grupo Indaiá, no município de Paraíso das Águas, MS. A área idealizada para o estudo de viabilidade está

situada na região do médio norte de Mato Grosso do Sul, com altitude de 650 m. O solo tem textura arenosa (Tabelas 1 e 2). Segundo o sistema de classificação de Köppen, o clima é tropical úmido (Aw) com estação chuvosa de outubro a abril e estação seca entre maio e setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 25 °C.

Tabela 1 – Características físico-hídricas do solo da área experimental

Camada (cm)	Distribuição granulométrica (%)			Teor de água (g g ⁻¹)		Densidade (g cm ⁻³)
	Argila	Silte	Areia	Cc	Pm	
0-20	12	5	83	0,088	0,053	1,3

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Tabela 2 – Características químicas do solo da área experimental

Camada (cm)	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	P-rem	MO
	H ₂ O	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³							%	mg L ⁻¹	dag kg ⁻¹
0-20	5,02	10,19	0,06	1,54	0,71	0,00	3,18	1,65	1,79	7,72	43,02	10,18	5,71

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Foram idealizados plantios das culturas milho, feijão-caupi e soja. Cada safra foi estudada com ocupação de 4 meses no solo.

Para a cultura do milho, foi utilizado o material P3454 PWU, com data de semeadura em 5 de março e data de fechamento de ciclo em 05 de julho. O feijão-caupi será semeado logo em seguida, fechando o ciclo em 05 de novembro. A soja, material Neo 750, com ciclo de 110 dias, será semeada em 05 de novembro e fechará o ciclo em 05 de março do ano seguinte.

Esse trabalho foi desenvolvido com o intuito de explorar áreas arenosas, em razão do custo de aquisição ser mais baixo, considerado no estudo em R\$ 20.000,00 o hectare. Esse custo é mais baixo por serem áreas com alto teor de areia. Tendo em vista o valor da terra mais acessível, idealizou-se realizar estudo de viabilidade de implantação de pivô central nessas áreas, considerando ser boa alternativa econômica, pois podem, ser conduzidas, simultaneamente, 3 safras irrigadas com boas produtividades e boa rentabilidade econômica.

Para os cálculos, foi projetado equipamento com área de 50 ha, com desnível de terreno de 2,0%. A obtenção dos custos de implementação do projeto de irrigação e da infraestrutura

de energia e transformadores foi feita em estabelecimentos comerciais locais especializados em irrigação. Além disto, os dados necessários para implementação da cultura foram obtidos com base no livro de referência nacional de custos de produção (AGRIANUAL, 2022).

Foi feita análise de viabilidade econômica por simulação, utilizando a planilha eletrônica *amazonSaf* (ARCO-VERDE; AMARO, 2011). Os custos de produção foram estimados utilizando valores aproximados em reais (R\$), considerando uma área cultivada de 50 ha, por meio da simulação do cultivo de três culturas em pivô central 50 ha, dimensionado com lâmina de irrigação de 8 mm dia⁻¹. A lâmina de projeto foi calculada utilizando um coeficiente de cultura máximo de 1,1, correspondente ao maior período de demanda hídrica da cultura do milho (ALLEN et al., 1998), cultura de maior demanda dentro do sistema de cultivo adotado (milho, feijão-caupi e soja), e eficiência de aplicação de 85% para pivô central (BERNARDO et al., 2019).

Para o cálculo da lâmina adotada no manejo de irrigação de março a julho (período de cultivo milho segunda safra), utilizou-se um Kc médio de 1,10 para a cultura do milho. Foram considerados 200 dias de irrigação por ano: 30 dias de irrigação em cultivo de verão (milho em grão), 60 dias de irrigação em cultivo de inverno (feijão-caupi) e 15 dias de irrigação na cultura de inverno/primavera (soja), com ciclo médio de 120 dias tanto para o milho, quanto para o feijão e soja, incluindo semeadura, condução da lavoura e colheita de ambas as culturas.

Para cálculos de viabilidade, utilizou-se a metodologia apresentada em Alves Sales et al. (2018). Os indicadores que avaliaram a viabilidade do investimento foram o indicador de lucratividade, referente à receita bruta (RE, R\$), que foi determinada pela Equação 1:

$$RE = PRO \times PRE \quad (1)$$

Em que PRO é a produção na área de estudo de 50 ha (kg) e PRE, o preço de venda (R\$). O valor presente líquido (VPL), definido como a diferença entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos (FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005), foi determinado pela Equação 2:

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad (2)$$

Sendo 'n' a longevidade do projeto; 'j', o período em que o fluxo de caixa ocorreu; 'FC', o saldo do fluxo de caixa; e 'i', a taxa de juros de 12% ao ano.

A taxa interna de retorno (TIR) determinada pela Equação 3 é a potencialidade de o projeto gerar retornos (FRIZZONE; ANDRADE JUNIOR, 2005):

$$TIR = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} = 0 \quad (3)$$

Período de recuperação (Payback) é o tempo que o projeto leva para retornar o capital investido (PUCCINI, 2016). A razão benefício/custo (B/C) é utilizada para verificar se os benefícios são maiores do que os custos e é determinada de acordo com a Equação 4 (FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005):

$$B/C = \frac{\sum_{k=0}^n B_k (1+i)^{-j}}{\sum_{k=0}^n C_k (1+i)^{-j}} \quad (4)$$

Em que B é o benefício (R\$); C, o custo (R\$); 'i', a taxa de juros de 12% ao ano; e 'j', o período em que o fluxo de caixa ocorreu.

Os preços de venda do milho (produtividade= 6500 kg.ha⁻¹; preço = R\$ 51,00 saca⁻¹), do feijão-caupi (produtividade = 2250 kg.ha⁻¹; preço = R\$ 210,00 saca⁻¹), da soja (produtividade = 4000 kg.ha⁻¹; preço = R\$ 125,00 saca⁻¹) representam os valores aceitos e utilizados pela AEB (2023) em projeções e financiamentos.

Na elaboração do projeto, foi preconizado o cultivo de milho, feijão-caupi e, após, soja. No ano agrícola seguinte, optou-se pelas mesmas culturas, repetindo o mesmo ciclo. Estas substituições foram feitas visando a melhorar a lucratividade do sistema, uma vez que a soja irrigada apresenta boa lucratividade na região de Paraíso das Águas MS e no mês de novembro já temos chuvas regularizadas. A irrigação tem sido um importante pilar na produção agrícola em todo o mundo. Na região de Paraíso das Águas, MS, o índice pluviômetro médio anual é de 1580 mm, com isso áreas com pivôs têm diferencial, pois conseguimos fazer 3 safras num período de um ano, possibilitando produtividades rentáveis. Temos nessas áreas, um solo arenoso, terras com menor valor agregado, o que justifica o estudo de viabilidade econômica de implantação de pivô central.

3 Resultados e discussão

Os resultados das análises econômicas revelaram os custos totais de produção para as culturas de milho, feijão-caupi e soja em Paraíso das Águas – MS, sendo eles de R\$ 6269,67, de R\$ 7651,59 e de R\$ 7947,03, respectivamente (Tabela 3). O custo de produção da soja é 1,26 maior que o do milho e 1,04 maior do que o do feijão-caupi, em razão dos altos custos com preparo e plantio do feijão-caupi, que, juntos, representaram 16,3% dos custos. Resultados encontrados por Carvalho et al. (2023) indicam que o custo de produção de feijão-caupi irrigado aumenta em cerca de 17 sacas por hectare, mas ainda assim há viabilidade de implantação da cultura em área com plena irrigação.

Tabela 3 – Porcentagem de investimentos, atividades e insumos no custo total de produção de milho, feijão-caupi e soja irrigados por pivô central em 50 ha, em Paraíso das Águas – MS

Investimentos / atividades / insumos	Milho		Feijão-caupi		Soja	
	R\$ ha ⁻¹	%	R\$ ha ⁻¹	%	R\$ ha ⁻¹	%
Custo de produção total	6.269,67	100,0	7.651,59	100,0	7.947,03	100,0
Custo de oportunidade	1.620,51	25,8	1.588,79	20,8	1.869,09	23,5
Depreciação	123,46	2,0	123,46	1,6	123,46	1,6
Energia elétrica	463,68	7,4	927,36	12,1	231,84	2,9
Manutenção	160,00	2,6	160,00	2,1	160,00	2,0
Custos administrativos	33,33	0,5	33,33	0,4	33,33	0,4
Impostos com Funrural	145,86	2,3	207,90	2,7	220,00	2,8
Preparo e plantio	360,88	5,8	1.248,80	16,3	796,10	10,0
Tratos culturais	2.588,48	41,3	2.588,48	33,8	3.976,38	50,0
Colheita	773,48	12,3	773,48	10,1	536,83	6,8
Totais	6.269,67	100,0	7.651,59	100,0	7.947,03	100,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Fernandes (2012) obteve que as despesas com preparo e plantio, tratos culturais e colheita da lavoura de feijão irrigada por pivô central representam 65,39% dos custos totais de produção, um pouco superior ao do presente estudo, em que foi observado que estas despesas representam cerca de 62,10%. Esse dado mostra que em 10 anos houve uma ligeira queda nos preços da semeadura, condução da lavoura e colheita do feijão.

Ao avaliar os custos de produção do milho irrigado por pivô central cultivado na região de Montes Claros-MG, Rabelo et al. (2017) obtiveram um custo de produção de R\$ 3.849,03 ha⁻¹, valor inferior ao apresentado na Tabela 4, indicando que o custo de produção do milho aumentou em, aproximadamente, 63% em 6 anos.

A Tabela 4 mostra que, em média, 62,1% dos custos totais de produção do sistema agrícola de milho, feijão-Caupi e soja se destinam ao preparo, plantio, tratos culturais e colheita, e 34,8%, à irrigação (investimento com equipamentos hidráulicos e infraestrutura, energia, depreciação e manutenção). A irrigação tem uma relação indireta com os custos de fertilizantes e defensivos, visto que a água aplicada em excesso pode causar lixiviação de nutrientes como nitrato e potássio, bem como o surgimento de doenças e parasitas (OLIVEIRA et al., 2020).

Foi considerado o valor médio de R\$ 0,40 KWh⁻¹ para energia. Foram considerados 360 dias de utilização da terra por ano, e os cálculos da lâmina de irrigação foram feitos individualmente para cada cultura, aplicada por ciclo. O aumento na quantidade de água fornecida à cultura supostamente provoca aumento no custo da eletricidade resultante de uma

maior tempo de irrigação, o que, por sua vez, aumenta a produção total e os custos (KAHRAMANOĞLU et al., 2020).

Na elaboração do projeto, foi preconizado o cultivo do milho, seguido por feijão-caupi e soja. Vale destacar que, na região do estudo, a soja verão é mais lucrativa em razão das condições climáticas e do foto período longo. A sensibilidade ao fotoperíodo é característica variável entre a soja, ou seja, cada cultivar tem seu fotoperíodo crítico, acima do qual o florescimento é atrasado. Por esta razão, a soja é considerada planta de dia curto. Já o milho e o feijão-caupi são exigentes em dias mais quentes e altas luminosidades, o que ocorre nesta região. O feijão-caupi tem diversas características vantajosas, como boa adaptação a solos de baixa fertilidade, tolerância à seca e alta capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico (FARIAS et al., 2021). Além disso, o feijão-caupi apresenta ciclo de crescimento curto, o que o torna uma opção interessante para a rotação de culturas na região.

A Tabela 5 apresenta os indicadores econômicos do sistema de produção agrícola.

Tabela 4 – Indicadores econômicos em trinta anos de investimento em sistemas de irrigação por pivô central com 50 hectares com cultivo de milho, feijão-caupi e soja, em Paraíso das Águas – MS

Atividade	Receita R\$ ha ⁻¹	Lucro			Avaliação financeira
		Operacional R\$ ha ⁻¹	Líquido R\$ ha ⁻¹	Acumulado R\$ ha ⁻¹	
ano 1	1.304.000,00	464.505,31	210.585,79	210.585,79	
ano 2	1.304.000,00	464.505,31	210.585,79	421.171,58	
ano 3	1.304.000,00	464.505,31	210.585,79	631.757,37	
ano 4	1.304.000,00	464.505,31	210.585,79	842.343,16	<i>Payback</i>
ano 5	1.304.000,00	464.505,31	210.585,79	1.052.928,95	<i>4 anos e 9 meses</i>
ano 6	1.304.000,00	464.505,31	210.585,79	1.263.514,74	
ano 7	1.304.000,00	464.505,31	210.585,79	1.474.100,53	
ano 8	1.304.000,00	464.505,31	210.585,79	1.684.686,32	

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Tabela 5 mostra que o lucro líquido acumulado com equipamento de pivô central 50 ha convencional demorou cinco anos para zerar o fluxo de caixa, ou seja, este seria o tempo necessário para zerar o investimento inicial, considerando o ciclo de safras proposto nesta avaliação. Tal fato revela viabilidade do empreendimento em um horizonte de 5 anos. A rentabilidade (VPL) das safras milho, feijão-caupi e soja foi de R\$ de R\$ 360,33, de R\$ 1798,41 e de R\$ 2052,97 ha⁻¹, respectivamente, um total de R\$ 4211,71 ha⁻¹ ano⁻¹, valor que proporciona ganho para o produtor, gerando emprego e desenvolvimento para a região.

A Tabela 6 mostra os indicadores econômicos do estudo.

Tabela 5 – Indicadores econômicos do sistema de irrigação por pivô central 50 ha nas safras de milho grão, feijão, soja na região de Paraíso das Águas – MS

Ano safra	Operação agrícola	Rentabilidade (%)	Lucratividade (%)	Margem de contribuição (R\$)	Taxa de retorno (%)	de B/C
1	Milho	5,75	5,43	R\$ 25.856,05	42,61	1,43
	Feijão-caupi	23,50	19,03	R\$ 97.760,16	55,87	1,56
	Soja	25,83	20,53	R\$ 110.488,10	64,53	1,65
2	Milho	5,75	5,43	R\$ 25.856,05	42,61	1,43
	Feijão-caupi	23,50	19,03	R\$ 97.760,16	55,87	1,56
	Soja	25,83	20,53	R\$ 110.488,10	64,53	1,65
3	Milho	5,75	5,43	R\$ 25.856,05	42,61	1,43
	Feijão-caupi	23,50	19,03	R\$ 97.760,16	55,87	1,56
	Soja	25,83	20,53	R\$ 110.488,10	64,53	1,65
4	Milho	5,75	5,43	R\$ 25.856,05	42,61	1,43
	Feijão-caupi	23,50	19,03	R\$ 97.760,16	55,87	1,56
	Soja	25,83	20,53	R\$ 110.488,10	64,53	1,65
5	Milho	5,75	5,43	R\$ 25.856,05	42,61	1,43
	Feijão-caupi	23,50	19,03	R\$ 97.760,16	55,87	1,56
	Soja	25,83	20,53	R\$ 110.488,10	64,53	1,65

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para as três culturas avaliadas (Tabela 6), verificou-se lucro indicado por $B/C > 1,0$ (PUCCINI, 2016), assim como a cada ano de cultivo. Esse indicador mostra que para cada R\$ 1,00 investido, há um retorno para o produtor com lucro de R\$ 1,43 para o milho, de R\$ 1,56 para o feijão-caupi e de R\$ 1,65 para a soja.

Ainda considerando as três culturas, pode-se verificar menor taxa de retorno (TIR) no cultivo do milho (42,61%) e maior taxa de retorno no cultivo da soja (64,53%). Considerando que um pivô central 50 ha bem manejado em média tem longevidade superior a 30 anos (OLIVEIRA et al., 2020) e que no sistema adotado o produtor consegue abater os custos de implantação do pivô com cinco anos, pode-se dizer que, a partir do quinto ano de cultivo neste sistema, a lucratividade é máxima.

4 Conclusão

A implantação de um sistema de irrigação por pivô central 50 ha é viável para o cultivo de milho, feijão-caupi e soja, considerando um horizonte de 4 anos e 9 meses de retorno do capital investido, nas condições deste estudo.

5 Referências

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP, 2022. p.497.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 327 p.

ALVES SALES, J.; ALVES JUNIOR, J.; PEREIRA, R. M.; RODRIGUEZ, W. D. M.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P. Viabilidade econômica da irrigação por pivô central nas culturas de soja, milho e tomate. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 22. p. 1-6, 2018. <https://doi.org/10.12661/pap.2017.011>.

ARCO-VERDE, M. F.; AMARO, G. **Cálculo de Indicadores Financeiros para Sistemas Agroflorestais**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2011. 36 p.

ASSOCIAÇÃO DE COMÉRCIO EXTERIOR DO BRASIL (AEB). Levantamento de preços de commodities. Disponível em: <http://aeb.org.br>. Acesso em: 12 jun. 2023.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D. da; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa: UFV, 2019. 545 p.

CARVALHO, E. O. T.; COSTA, D. L. P.; DA LUZ, D. B.; RUA, M. L.; VELAME, M de L. A.; MONTEIRO, A. C.; VIEIRA, I. C. de O.; PINTO, J. V. de N.; FERNANDES, G. S. T.; NUNES, H. G. G. C., SOUZA, P. J. de O. O. de.; SANTOS, M. A. S. dos. Economic indicators for cowpea cultivation under different irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 8, p. 618-624, 2023. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n8p618-624>

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: Conab, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 10 maio 2023.

COSTA, A. C. S.; SOUZA, L. C. D. de. Adaptação e viabilidade econômica do feijão-caupi como safrinha no Norte de Mato Grosso. **Nativa-Revista de Ciências Sociais do Norte de Mato Grosso**, v. 8, n. 2, p. 165-175, 2019. Disponível em: <https://sophiauta.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Agroneg%C3%B3cio/tcc+pdf+ANA+CAROLINNY.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2023.

FARIAS, M. F.; BRITO FILHO, A. L. de; ALMEIDA, I. B. C. de; URBANO, É. T.; PARRA-SERRANO, L. J.; OLIVEIRA, J. T. de. Residual effect of potassium fertilization on melon under cowpea. **European Academic Research**, v. 9, n. 1, p. 359-368, 2021. Disponível em: <https://euacademic.org/UploadArticle/4849.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2023.

FERNANDES, M. L. Retorno financeiro e risco de preço da cultura do feijão irrigado via pivô central na região Noroeste de Minas Gerais. **Informações Econômicas**, v. 42, n. 1, p. 41-53, 2012. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/publicacoes/IE/2012/tec4-0112.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília: Embrapa, 2005. 627 p.

GAVA, R.; CAMPOS, F. H.; COELHO, R. D.; OLIVEIRA, J. T. de.; BARROS, T. H. da S.; Economic analysis of irrigation in the production system of soybean and second season maize in sandy soil areas in Brazil. **Irrigation and Drainage**, v. 72, n. 1, p. 213-223, 2023. <https://doi.org/10.1002/ird.2767>.

KAHRAMANOĞLU, İ.; USANMAZ, S.; ALAS, T. Water footprint and irrigation use efficiency of important crops in Northern Cyprus from an environmental, economic and dietary perspective. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 27, n. 1, p.134-141, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.06.005>.

OLIVEIRA, J. T. de; OLIVEIRA, R. M. de; OLIVEIRA, R. A. de; OLIVEIRA, E. M. de; BOTELHO, M. E.; FERREIRA, P. M. O. Viabilidade econômica de irrigação por pivô central em pequenas áreas cultivadas com feijão, soja e milho. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 14, n. 4, p. 4171-4179, 2020. <https://doi.org/10.7127/RBAI.V14N401189>.

PUCCINI, E. C. **Matemática financeira e análise de investimentos**. 3. ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2016. 132 p.

RABELO, C. G.; SOUZA, L. H.; OLIVEIRA, F. G. Análise dos custos de produção de silagem de milho: estudo de caso. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 9. n. 2. p. 8-15, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/2955>. Acesso em: 15 jun. 2023.

5 CAPÍTULO 2 - BALANÇO DE NUTRIENTES NO SOLO E PRODUTIVIDADE DE MILHO CONSORCIADO COM CULTURAS DE COBERTURA E FEIJÃO-CAUPI EM SUCESSÃO

Resumo

O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura, além de promover o uso eficiente do solo pela exploração de diversas culturas, é uma opção para a produção de palhada, podendo ocorrer alterações na dinâmica dos nutrientes no sistema solo-planta, de acordo com as espécies utilizadas. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o balanço de nutrientes no consórcio da cultura do milho (*Zea mays*) e do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) com gramíneas do gênero *Urochloa* e as leguminosas crotalária (*Crotalaria juncea*) e o feijão guandu-anão (*Cajanus cajan*). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições e seis tratamentos, instalados em parcelas experimentais com dimensões de 10 m x 10 m (100 m²). Os tratamentos foram: Milho exclusivo (ME); Milho + Braquiária (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) (MU); Milho + Crotalária (*Crotalaria juncea*) (MC); Milho + Feijão guandu-anão (*Cajanus cajan* cv. Iapar 43) (MF); Milho + Braquiária + Crotalária (MBC); Milho + Braquiária + Feijão guandu-anão (MBF). O feijão-caupi foi implantado logo após a colheita do milho, em sucessão aos tratamentos feitos na área. Foram avaliados os teores de N, P e K ciclados e exportados, seguido do balanço destes nutrientes nos tratamentos propostos. A produtividade do milho foi maior no cultivo exclusivo pela menor competição com as plantas de cobertura, que têm efeito potencializado em condições climáticas críticas. A produtividade do feijão-caupi em sucessão foi beneficiada pelos sistemas com maior palhada proveniente dos consórcios do milho com culturas de cobertura. O balanço final de nitrogênio e fósforo no solo não foi afetado pelas diferentes plantas de cobertura no consórcio com milho e feijão-caupi em sucessão, enquanto o balanço final de potássio foi menor nos cultivos de milho com crotalária, braquiária e feijão guandu-anão e milho com braquiária e crotalária.

Palavras-chave: Balanço de carbono. *Cajanus cajan*. *Crotalaria juncea*. Plantio direto. *Urochloa brizantha*.

CHAPTER 2 - SOIL NUTRIENT BALANCE AND CORN PRODUCTIVITY INTERCROWNED WITH COVER CROPS AND COWPEA IN SUCCESSION

Abstract

The cultivation of maize intercropped with cover crops, in addition to promoting the efficient use of the soil by exploring different crops, is an option for the production of straw, and changes in the dynamics of nutrients in the soil-plant system may occur, according to the conditions species used. Therefore, the objective of this work was to evaluate the balance of nutrients from the intercropping of maize (*Zea mays*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) with grasses of the genus *Urochloa* and the leguminous sunn hemp (*Crotalaria juncea*) and common bean. dwarf pigeon pea (*Cajanus cajan*). The experimental design was randomized blocks, with four replications and 6 treatments, installed in experimental plots with dimensions of 10 m x 10 m (100 m²). The treatments were: Exclusive corn (ME); Corn + Brachiaria (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) (MU); Corn + Crotalaria (*Crotalaria juncea*) (MC); Corn + Dwarf pigeon pea (*Cajanus cajan* cv. Iapar 43) (MF); Corn + Brachiaria + Crotalaria (MBC); Corn + Brachiaria + Pigeon pea (MBF). The cowpea was implanted right after the maize harvest, in succession to the treatments carried out in the area. Cycled and exported N, P and K contents were evaluated, followed by the balance of these nutrients in the proposed treatments. Corn productivity was higher in exclusive cultivation, due to less competition with cover crops, which has a potentiated effect in critical climatic conditions. Cowpea productivity in succession was benefited by systems with greater straw coming from maize intercropped with cover crops. The final balance of nitrogen and phosphorus in the soil was not affected by the different cover crops intercropped with maize and cowpea in succession, while the final balance of potassium was lower in maize crops with: sunn hemp; brachiaria and dwarf pigeonpea; and brachiaria and sunn hemp.

Keywords: *Cajanus cajan*. *Crotalaria juncea*. No-tillage. *Urochloa brizantha*

1 Introdução

A cultura do milho (*Zea mays*) é de grande importância econômica e social em todo o mundo, devido à sua larga escala de uso na alimentação humana e animal. O Brasil está entre os principais produtores do cereal do mundo, com estimativa de produção de 124,8 milhões de toneladas para a safra de 2022/23 (CONAB, 2023). Esse grande volume de produção, associado a uma demanda constante pelo produto, se reflete na necessidade de técnicas que viabilizem o aumento da produção de maneira sustentável.

A utilização da adubação verde com plantas de cobertura é uma alternativa ecológica e econômica de manejar adequadamente o solo, além de disponibilizar nutrientes pela degradação da matéria vegetal morta deixada na área pela cultura subsequente (ARAÚJO et al., 2019). O uso de plantas de cobertura é uma alternativa à manutenção da qualidade e da sustentabilidade dos cultivos agrícolas, em razão da melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (THOMÉ et al., 2021). E no consórcio de culturas comerciais com plantas de cobertura, a cultura do milho é uma das mais favoráveis a este sistema de cultivo por sua grande adaptação fisiológica (SIEDEL et al., 2017).

As gramíneas do gênero *Urochloa* apresentam bom desempenho em consórcios, com excelente cobertura da superfície do solo, deixando boa quantidade de palhada ao longo do tempo. Já o consórcio do milho e do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) com leguminosas como crotalária (*Crotalaria juncea*) e o feijão guandu-anão (*Cajanus cajan*), além da palhada, apresenta como benefício adicional a ciclagem de nutrientes como o nitrogênio. Assim, melhora a concentração e a disponibilidade desse elemento para culturas sucessoras, em razão do seu ciclo vegetativo curto e da baixa competição. Desta forma, possibilita maior eficiência na utilização do solo e na nutrição mineral, pelo fornecimento de nitrogênio ao sistema (MATUSSO; MICHERU-MUNA, 2014).

Sabe-se que a matéria orgânica oriunda dos resíduos culturais influencia diretamente na disponibilidade de nutrientes para as culturas posteriores (CARVALHO et al., 2020), entretanto os efeitos dos diferentes consórcios da cultura do milho com gramíneas e leguminosas no balanço de nutrientes no solo são pouco explorados. A avaliação do balanço de nutrientes no solo possibilita o uso eficiente de nutrientes, maximiza a produtividade das culturas, podendo auxiliar até mesmo na redução de gastos com insumos agrícolas.

Desta forma, a hipótese deste trabalho baseia-se na eficiência de ciclagem de nutrientes de plantas de cobertura consorciadas com milho e feijão-caupi, disponibilizando esses nutrientes no solo, melhorando suas características químicas, físicas e biológicas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o balanço de nutrientes obtidos pelo consórcio da cultura do

milho e do feijão-caupi com gramíneas do gênero *Urochloa* e as leguminosas crotalária (*Crotalaria juncea*) e o feijão guandu-anão (*Cajanus cajan*).

2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Piauí – UFPI, localizado no município de Alvorada do Gurgueia (8° 22' 34" S e 43° 51' 23" W e altitude de 222 m). O solo da área é classificado como Neossolo Quartzarênico órtico típico (SANTOS et al., 2018), cujas características químicas e granulométricas são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise química e granulométrica do solo da área do estudo

Camada	pH ¹	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	K ⁺	SB ²	CTC ³	P	V ⁴	MO ⁵	Areia	Silte	Argila
mcmol _c dm ⁻³							mg dm ⁻³	%g kg.....				
0,0 – 0,20	5,3	1,2	0,05	0,1	1,8	0,08	1,3	3,2	5,6	42,2	5,7	888	12	100

¹pH = potencial hidrogeniônico em água; ²SB= soma de bases; ³CTC= Capacidade de Troca Catiônica. ⁴V= Saturação por bases; MO⁵ = matéria orgânica.

O clima da região é classificado como Bsh, segundo Köppen (MEDEIROS et al., 2013). Os dados climáticos do período experimental, referentes à temperatura média, precipitação mensal e histórico de precipitação de 30 anos, são apresentados na Figura 1.

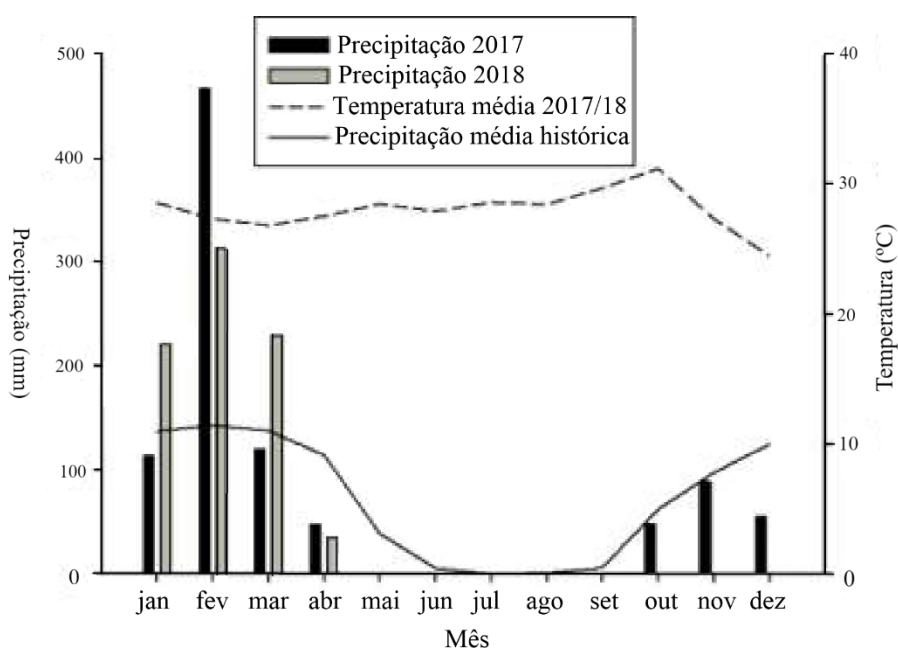


Figura 1 – Temperatura média e precipitação mensal de 2017 a 2018.

(Fonte: Arquivo pessoal, pluviômetro instalado na área experimental). Histórico de precipitação média mensal de 30 anos em Alvorada do Gurgueia-PI (Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições e seis tratamentos, instalados em parcelas experimentais com dimensão de 10 m x 10 m (100 m²). Os tratamentos foram: Milho exclusivo (ME); Milho + Braquiária (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) (MU); Milho + Crotalária (*Crotalaria juncea*) (MC); Milho + Feijão guandu-anão (*Cajanus cajan* cv. Iapar 43) (MF); Milho + Braquiária + Crotalária (MBC); Milho + Braquiária + Feijão guandu-anão (MBF).

O preparo do solo foi feito no início da safra de 2017 por meio de gradagem e aração da área com grade aradora (16 discos de 32 polegadas), antes da semeadura do milho consorciado com as plantas de cobertura. A semeadura foi feita de forma a se obter uma densidade de 66.000 plantas ha⁻¹ de milho e em consórcio com as plantas de cobertura nas densidades de 12 kg ha⁻¹ de *C. juncea*, 10 kg ha⁻¹ de *U. brizantha* e 50 kg ha⁻¹ de *C. cajan*.

As culturas de cobertura foram lançadas na superfície do solo manualmente e incorporadas pelo revolvimento do solo promovido por uma semeadora adubadora, utilizada para a semeadura do milho, com espaçamento de 0,90 m entre linhas, totalizando 8 linhas por parcela. A adubação do milho no plantio foi feita utilizando 330 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (P₂O₅), e em cobertura, foi feita utilizando 150 kg ha⁻¹ de ureia (N) e 120 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (K₂O) nos estágios V4 e V8 do milho. Os tratos culturais (controle de pragas, doenças e plantas daninhas) utilizados na área experimental foram feitos igualmente em todos os tratamentos avaliados de acordo com as necessidades das culturas.

A colheita foi feita quando o milho atingiu a maturidade fisiológica, aproximadamente 150 dias após a semeadura. A produtividade foi estimada pela coleta manual de espigas contidas em 3,90 m² de cada parcela, com grãos trilhados manualmente e secos em estufa de circulação de ar a 65 °C, até obtenção de massa constante. A massa de grãos foi determinada em balança semianalítica de precisão (0,01 g) para estimativa da produtividade, com valores extrapolados para kg ha⁻¹.

A massa seca (MS) das plantas de cobertura consorciadas com o milho foi avaliada segundo metodologia proposta por Crusciol et al. (2005), pelo uso de um quadrado metálico de 0,50 x 0,50 m (0,25 m²) arremessado aleatoriamente na área útil da parcela em quatro repetições, com corte das plantas rente ao solo. As amostras foram levadas ao laboratório para pesagem e secagem em estufa de circulação de ar a 65 °C, até obtenção de massa seca constante. Após a secagem, as plantas foram moídas em moinho tipo Wiley e enviadas para análise de N, P, K (SILVA, 2011).

A cultura do feijão-caupi foi implantada logo após a colheita do milho, em sucessão aos tratamentos realizados na área, com espaçamento entre 0,55 m entre linhas e média de 18

plantas por metro linear. A adubação foi feita seguindo o proposto por Andrade Júnior et al. (2002), utilizando 72 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (P₂O₅) no plantio, e em cobertura, 70 kg ha⁻¹ de ureia (N) e 40 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (K₂O). Os tratos culturais (controle de doenças, pragas e plantas daninhas) foram feitos igualmente em todos os tratamentos, conforme a necessidade da cultura.

O solo da área experimental foi coletado após a colheita, submetendo as amostras a uma análise química para determinação dos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e pH em água, teores de fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (MO), teor de carbono total (COT) e teor de nitrogênio total (NT), que foram determinados utilizando metodologia de Teixeira et al. (2017).

Os cálculos dos estoques foram baseados nas densidades apresentadas pelo solo. Já os cálculos dos elementos foram obtidos pela soma dos estoques encontrados em cada camada avaliada. O balanço de nutrientes (BN) do sistema foi obtido pelas Equações 01, 02 e 03:

$$\text{BN (N)} = \text{N fertilizantes} + \text{N(palha)} - \text{N exportado (grãos milho + feijão-caupi)} \quad (01)$$

$$\text{BN (P)} = \text{P fertilizantes} + \text{P final ciclado (palha)} + \text{Psolo (Pfinal - Pinicial)} - \text{P exportado (grãos milho + feijão-caupi)} \quad (02)$$

$$\text{BN (K)} = \text{K fertilizantes} + \text{K final ciclado (palha)} + \text{K solo (K final - Psolo inicial)} - \text{K exportado (grãos milho + feijão-caupi)}. \quad (03)$$

Em que BN (N) é o balanço de nitrogênio; BN (P) é o balanço de fósforo; e BN (K) é o balanço de potássio, em kg ha⁻¹.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste F e, quando significativo, as médias comparadas pelo do Teste de Tukey ao nível 5% de significância. A análise estatística foi feita com procedimentos de Modelos Lineares Gerais (GLM) e aplicado o teste de Barlett na análise combinada para indicação de termos de erros não homogêneos, para cobertura do solo de primavera, biomassa e biomassa N, separando a análise dessas variáveis em anos. As demais variáveis que apresentaram medidas homogêneas em relação ao erro foram separadas e combinadas, utilizando o modelo aditivo linear e análise combinada, conforme a Equação 04:

$$y = \mu + Y_i + \beta_{ij} + C_k + YC_{ik} + \epsilon_{ijk} \quad (04)$$

em que y é a variável a ser analisada; μ é a média geral; Y_i é o efeito do i -ésimo nível de anos (aleatório); β_{ij} é o efeito do j -ésimo bloco no i -ésimo ano; C_k é o efeito do k -ésimo nível de o tratamento da cultura de cobertura (fixo); YC_{ik} é a interação ano x tratamento da cultura de cobertura; e ijk é o termo de erro residual.

3 Resultados e discussão

Os dados referentes ao Nitrogênio ciclado, exportado, e ao balanço deste nutriente no cultivo de milho consorciado com culturas de cobertura e feijão-caupi em sucessão estão apresentados na Tabela 7. Não foi observada diferença significativa ($p > 0,05$) para o N ciclado no sistema via palhada, tampouco para o N exportado via grãos (Milho + Feijão-caupi).

Tabela 7 – Ciclagem, Exportação e Balanço de Nitrogênio (N) no cultivo de milho consorciado com culturas de cobertura e feijão-caupi em sucessão. Alvorada do Gurgueia - PI, 2017/2018

Tratamento	N ciclado (kg ha ⁻¹)	N exportado (kg ha ⁻¹)	Balanço de N (kg ha ⁻¹)
ME ¹	14,21	45,46	96,50
MB ²	15,48	50,34	96,54
MF ³	15,25	45,02	101,64
MC ⁴	6,61	36,55	102,93
MBF ⁵	8,50	34,62	105,27
MBC ⁶	8,03	38,77	100,66
<i>P-value</i>	0,0559	0,0581	0,5912
CV (%)	45,55	23,26	9,70

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ¹ME = Milho exclusivo; ²MB = Milho + Braquiária (*Urochloa brizantha*, cv. 'Marandu'); ³MF = Milho + Feijão guandu-anão (*Cajanus cajan*, cv. 'Iapar 43'); ⁴MC = Milho + Crotalária (*Crotalaria juncea*); ⁵MBF = Milho + Braquiária + Crotalária; ⁶MBC = Milho + Braquiária + Feijão guandu-anão. ⁷CV = coeficiente de variação.

O balanço de nitrogênio foi estimado pela quantidade deste nutriente que entrou nos sistemas agrícolas pela adubação e pelo retorno deste nutriente contido nos tecidos vegetais transformados em palhada pelas culturas de cobertura (N ciclado), em relação à quantidade que deixou no sistema pelos produtos colhidos na forma de grãos (N exportado). Não foi observada diferença no balanço de N nos tratamentos, Tabela 7, pela adição, ciclagem e exportação semelhantes.

De acordo com Pierre et al. (2022), as leguminosas geralmente têm grande acúmulo de N em sua biomassa, o que confirma sua capacidade de fornecer N para os sistemas de cultivo e, como as leguminosas compartilham até 15% do N com os cereais no sistema de cultivo consorciado, o N atmosférico é biologicamente fixado tanto pelas leguminosas quanto pelas não leguminosas, equilibrando o nutriente no sistema.

A ciclagem, a exportação e o balanço de P, apresentados na Tabela 8, indicaram que os consórcios de milho com feijão-guandu (MF) e milho com crotalária (MC) apresentaram ciclagem de P, via palhada, maior em relação aos demais tratamentos. A ciclagem deste nutriente se apresentou maior em razão da sua maior extração pelas plantas formadoras de palhada, Guandu e Crotalária. Assim, tendo havido maior produção de palhada, conseqüentemente houve maior quantidade de nutriente para ser ciclado nos sistemas. Da mesma forma, os demais tratamentos (ME, MB, MBF, MBC) apresentaram menor produção de palhada, resultando em menor quantidade de P ciclado.

Tabela 8 – Ciclagem, exportação e balanço de Fósforo (P) no cultivo de milho consorciado com culturas de cobertura e feijão-caupi em sucessão

Tratamento	P ciclado (kg ha ⁻¹)	P exportado (kg ha ⁻¹)	Balanço de P (kg ha ⁻¹)
ME ¹	3,55 b	8,81 a	53,44
MB ²	5,20 b	5,40 b	61,79
MF ³	10,35 a	6,10 b	56,30
MC ⁴	9,78 a	1,70 c	61,80
MBF ⁵	5,19 b	1,37 c	57,09
MBC ⁶	5,35 b	1,77 c	59,72
<i>P-value</i>	<0,0001	<0,0001	0,9017
CV ⁷ (%)	44,84	71,47	20,18

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ¹ME = Milho exclusivo; ²MB = Milho + Braquiária (*Urochloa brizantha*, cv. 'Marandu'); ³MF = Milho + Feijão guandu-anão (*Cajanus cajan*, cv. 'Iapar 43'); ⁴MC = Milho + Crotalária (*Crotalaria juncea*); ⁵MBC = Milho + Braquiária + Crotalária; ⁶MBF = Milho + Braquiária + Feijão guandu-anão. ⁷CV= coeficiente de variação.

Segundo Lopes et al. (2022), dicotiledôneas como o feijão-guandu e crotalária avaliadas neste estudo fazem uso mais eficaz do P do que as monocotiledôneas, em razão de processos radiculares capazes de promover maior dissolução de fosfatos e pela maior capacidade das dicotiledôneas de acidificar a rizosfera e solubilizar compostos de P. Este

efeito ocorre, inclusive com o feijão-guandu, o qual mobiliza P dos fosfatos de Fe pela exsudação radicular de ácido piscídico, aumentando o uso deste nutriente no sistema.

Em geral, a fitomassa de espécies leguminosas apresenta decomposição e liberação de nutrientes mais rapidamente em relação às gramíneas por causa do alto teor de N, principalmente em regiões com temperaturas elevadas (FREITAS et al., 2018). Isso pode explicar os maiores valores de P ciclado nos tratamentos com a inclusão de leguminosas (MF e MC), que, em conjunto com a maior produção de palha, contribuíram para um maior P ciclado.

Em relação à exportação de P via grãos, o tratamento sem consorciação com plantas de cobertura mostrou extração de P maior em relação aos tratamentos consorciados. A maior extração de P em ME ocorreu devido à maior produtividade de grãos de milho apresentada neste tratamento (Tabela 8). Quanto maior a produtividade de grãos, maior a exportação de nutrientes, como observado para o P. Os resultados confirmam aqueles observados por Oliveira et al. (2022), que, por meio de análise de trilha, concluíram que o teor de fósforo é a variável que melhor se correlaciona, positivamente, com o peso médio de grãos na cultura do milho.

No que se refere à exportação dos nutrientes, a alta translocação deste nutriente para os grãos colaborou para maiores valores de exportação de P em tratamentos com maiores produtividades de grãos de milho. Embora os valores de P ciclado e exportados tenham sido diferentes, não foi observado impacto sobre o balanço deste nutriente nos diferentes tratamentos, o qual se manteve semelhante entre eles. Portanto, não houve diferença ($p > 0,05$) no balanço de P entre os tratamentos avaliados.

Em relação ao balanço de K nos sistemas, Tabela 9, o comportamento obtido foi o mesmo para o K ciclado. Em função do cálculo do BN, que leva em consideração o K ciclado e o K exportado, o balanço de K refletiu os efeitos do K ciclado, já que o K exportado foi semelhante entre os tratamentos. O tratamento MB apresentou maior quantidade de K ciclado, o qual não diferiu dos tratamentos ME e MF.

Tabela 9 – Ciclagem, exportação e balanço de Potássio (K) no cultivo de milho consorciado com culturas de cobertura e feijão-caupi em sucessão

Tratamento	K ciclado (kg ha ⁻¹)	K exportado (kg ha ⁻¹)	Balanço de K (kg ha ⁻¹)
ME ¹	10,40 ab	12,59 a	121,20 ab
MB ²	13,57 a	11,20 a	132,11 a
MF ³	12,40 ab	11,43 a	128,37 ab
MC ⁴	5,17 bc	10,31 a	107,79 bc
MBF ⁵	6,92 bc	8,93 a	114,43 bc
MBC ⁶	3,16 c	9,97 a	102,11 c
<i>P-value</i>	0,0036	0,0627	0,0048
CV ⁷ (%)	56,90	16,33	11,85

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ¹ME = Milho exclusivo; ²MB = Milho + Braquiária (*Urochloa brizantha*, cv ‘Marandu’); ³MF = Milho + Feijão guandu-anão (*Cajanus cajan*, cv ‘Iapar 43’); ⁴MC = Milho + Crotalaria (*Crotalaria juncea*); ⁵MBF = Milho + Braquiária + Feijão guandu-anão; ⁶MBC = Milho + Braquiária + Crotalaria; ⁷CV= coeficiente de variação.

De acordo com Oliveira et al. (2019), o consórcio de milho com *Urochloa brizantha* produz uma grande quantidade de resíduos vegetais, com grande ciclagem de nutrientes, entre eles, o potássio. Os autores afirmam que a palhada das braquiárias é capaz de acumular K em quantidade semelhante ou maior que o milho, o que explica a maior expressão deste nutriente no tratamento MB em função da braquiária no presente estudo.

Steiner et al. (2012) observaram a quantidade de K acumulado nas plantas de cobertura de 96 kg ha⁻¹ para o consórcio de aveia preta com ervilhaca e nabo forrageiro e de 154 kg ha⁻¹ para o consórcio mucuna, braquiária e crotalaria. A alta capacidade dessas plantas de extrair nutrientes do solo, especialmente K, reflete o importante papel que as plantas de cobertura desempenham na ciclagem de nutrientes em solos sob sistemas de rotação de culturas, com destaque para a braquiária.

Segundo Ferreira et al. (2022), o melhor acúmulo e ciclagem de K quando há consórcio com braquiárias está associado ao sistema radicular expressivo das espécies de *Urochloa*, as quais desenvolvem raízes que penetram e exploram grande volume do solo, possibilitando alta absorção de K (ROSOLEM et al., 2019), incluindo as formas não trocáveis (VOLF et al., 2019).

Com isso, os menores valores de K ciclado nos demais tratamentos com braquiária (MBC e MBF) podem ser atribuídos à baixa produção de biomassa causada pelo grande efeito de competição entre as culturas em período crítico de condições climáticas.

Em relação à exploração do potássio nos sistemas, o milho é considerado altamente exigente e exportador de K, podendo ser grande parte do K ciclado atribuído à palhada remanescente do milho. De acordo com Ray et al. (2020), o K é o segundo nutriente mais exigido pelo milho, sendo absorvido em altas quantidades por ele. Porém, embora seja alta a quantidade absorvida deste nutriente, somente cerca de 20% é exportado pelos grãos, o restante retornando ao solo por meio dos restos de colheita (SILVA et al., 2018).

Brandão et al. (2017) citam que a utilização da mistura de espécies com maior proporção de gramíneas contribui no fornecimento de K para a cultura subsequente, considerando que a contribuição do K liberado pelos resíduos culturais fica em torno de 80% para espécies de gramíneas e de 90% para espécies de leguminosas, tendo assim importante papel na ciclagem desse nutriente no sistema.

A quantidade de K ciclado no tratamento ME se deve à alta extração deste nutriente pelas plantas, embora a quantidade de palha, Tabela 9, tenha sido inferior. No entanto, como comentado anteriormente, a cultura do milho é uma grande recicladora de K, tendo sua palhada teores mais altos de K. Quanto à exportação de K, não foi observada diferença entre os tratamentos, sendo todos os consórcios semelhantes entre si. De certa forma, pode-se dizer que a exportação de K entre milho e feijão-caupi foi balanceada entre os tratamentos com mais produtividade de caupi e menos de milho, equilibrando, assim, a exportação no cálculo final.

Por consequência, o balanço de K nestes sistemas requer atenção para garantir que a quantidade extraída deste nutriente não esteja ultrapassando a quantidade adicionada via adubação e ciclagem. No entanto, no presente trabalho, as baixas produtividades, principalmente da cultura do milho, em função de condições climáticas desfavoráveis, contribuíram para uma menor exportação do nutriente, mantendo, assim, seu balanço positivo no solo.

Oliveira et al. (2019), avaliando a contribuição de milho consorciado com espécies de *Brachiaria* na ciclagem de nutrientes, reportaram que o acúmulo de biomassa e a ciclagem de nutrientes foram próximos aos relatados para culturas anuais tradicionalmente cultivadas. Entretanto, Dala Cort et al. (2021) encontraram maior acúmulo de K em sistemas de cultivo com o consórcio com braquiárias, tanto *U. brizantha* quanto *U. ruziziensis*, em relação às demais culturas como a *Crotalaria* (*C. spectabilis* e *C. breviflora*), milheto (*Pennisetum glaucum*), Guandu e *Stylosanthes* spp.

Considerando o aporte de nutrientes e a taxa de mineralização mais rápida das leguminosas, a disponibilização de nutrientes ocorre mais rapidamente nas coberturas compostas por este tipo de planta. Já as gramíneas, que têm decomposição mais lenta, atendem à necessidade de manter os níveis de matéria orgânica no solo em condições tropicais por períodos mais longos. Desta forma, parece viável que a associação de gramíneas com leguminosas possa favorecer a dinâmica de ciclagem de nutrientes (BRANDÃO et al., 2017), porém este efeito não pôde ser observado quando da consorciação tripla de milho com gramínea e leguminosas no presente estudo, em que os tratamentos MBF e MBC apresentaram produtividade de grãos (PG) muito insatisfatória em relação aos demais tratamentos (Tabela 10).

Tabela 10 – Produtividade de grãos de milho e palhada dos consórcios no cultivo de milho consorciado com culturas de cobertura e feijão-caupi em sucessão

Tratamento	PG ⁸ Milho (kg ha ⁻¹)	PG ⁸ caupi (kg ha ⁻¹)	Palhada (kg MS ha ⁻¹)
ME ¹	1133,13 a	563,46 b	533,33 d
MB ²	622,83 b	1402,95 a	1733,33 c
MF ³	540,50 b	893,08 ab	2480,00 b
MC ⁴	47,12 c	1355,91 a	3306,67 a
MBF ⁵	12,00 c	1130,77 ab	1920,00 bc
MBC ⁶	29,12 c	988,53 ab	1520,00 c
<i>P-value</i>	<0,001	0,0122	<0,001
CV ⁷ (%)	109,98	38,14	47,37

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ¹ME = Milho exclusivo; ²MB = Milho + Braquiária (*Urochloa brizantha*, cv 'Marandu'); ³MF = Milho + Feijão guandu-anão (*Cajanus cajan*, cv 'Iapar 43'); ⁴MC = Milho + Crotalária (*Crotalaria juncea*); ⁵MBC = Milho + Braquiária + Crotalária; ⁶MBF = Milho + Braquiária + Feijão guandu-anão. ⁷CV = coeficiente de variação; ⁸PG = Produtividade de grãos.

No caso dos cultivos consorciados, a interferência interespecífica pode provocar menor crescimento e desenvolvimento das espécies em decorrência da competição pelos recursos naturais do meio e de outras interações entre plantas presentes no mesmo ambiente. Um dos fatores de grande relevância para as culturas em consórcios é a densidade populacional das espécies (CARDOSO et al., 2018), que influencia diretamente na magnitude dos efeitos, inviabilizando o sistema, caso as condições não sejam favoráveis e o manejo não seja conduzido adequadamente.

Em condições climáticas críticas como altas temperaturas e déficit hídrico acentuado no desenvolvimento dos consórcios com milho, Figura 1, esse efeito é ainda mais pronunciado, afetando drasticamente a produção de grãos da cultura. Como pode ser observado, a PG do ME foi maior, provavelmente em virtude da ausência de competição com culturas paralelas em situações críticas. Da mesma forma, maior aporte de palha no tratamento MC demonstra uma grande produção vegetal neste tratamento, obviamente da Crotalária, que demandou muitos recursos em situação de competição, resultando em PG do milho deficiente. Neste caso, o sistema radicular pivotante da Crotalária permitiu a exploração de água em estratos mais profundos (SANTOS et al., 2014), fazendo com que ela se sobressaísse em relação ao milho.

Quanto à produtividade de grãos do feijão-caupi, a menor PG encontrada foi no cultivo em sucessão ao cultivo de milho exclusivo, ou seja, sem o efeito de palhada. O uso de plantas de cobertura influencia as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (TIECHER et al. 2017), incluindo a manutenção da umidade e a redução de perda de água do solo (LIMA et al., 2018), a dinâmica de agregados (SILVA et al., 2019), o estímulo da atividade microbiana (AMORIM et al., 2020) e a manutenção do carbono e da matéria orgânica (AMADORI et al., 2022).

Logo, em tratamentos com ausência ou com menor cobertura no solo, o desempenho produtivo das culturas fica em desvantagem, seja pelas condições químicas, físicas e biológicas menos favoráveis, seja pela menor capacidade de se sobressair em períodos de estresse hídrico, os quais são determinantes na PG.

Silva (2017), avaliando o cultivo de feijão-caupi 'BRS Imponente' com e sem déficit hídrico, em sistema de plantio convencional e plantio direto, observou que, no plantio direto, mesmo repondo somente a metade da ETc, obteve-se uma produtividade significativamente igual à produtividade obtida com reposição plena da ETc em sistema de plantio convencional, mostrando que, na presença de cobertura sobre o solo, há aumento do conteúdo de água no solo disponível às plantas, contribuindo para uma maior produtividade de grãos. Assim, a redução da PG pode ser atribuída à ausência de cobertura no solo.

Embora os valores de BN não tenham apresentado diferença significativa ($p < 0,05$), a exportação de nutrientes pela cultura do milho foi maior no ME, em razão da maior produtividade, supondo, assim, uma menor quantidade de nutrientes disponíveis para aproveitamento posterior pela cultura do feijão-guandu.

A combinação entre a decomposição mais lenta das gramíneas causada pela sua alta relação C/N e a taxa de mineralização mais rápida das leguminosas contribuem com a

manutenção de palha na superfície por mais tempo, ao mesmo tempo em que permite a liberação de nutrientes. Esse efeito pode ser observado nos tratamentos MB e MC, os quais apresentaram os maiores valores de PG. Neste caso, pode-se dizer que a PG de grãos foi mantida semelhante entre os tratamentos, em que a maior quantidade de palhada proveniente de uma leguminosa de decomposição rápida se equilibrou com a menor quantidade proveniente de uma gramínea de decomposição lenta, promovendo, ambas, efeito benéfico para a produtividade de grãos do feijão-caupi.

De acordo com Pariz et al. (2020), o consórcio triplo de milho com feijão-guandu e braquiária é o sistema mais efetivo em termos de produtividade e melhoria de outros elementos do sistema, como maior cobertura do solo e maiores concentrações de nutrientes nas plantas, principalmente nitrogênio e potássio. Esse tipo de consórcio permite melhor ciclagem de nutriente em decorrência da quantidade de nutrientes retidos na palhada, promovendo um melhor aproveitamento da terra com uma maior eficiência no uso dos nutrientes, principalmente o N e o K.

A produção nos sistemas depende de diversos fatores, entre eles, temperatura do ar, precipitação, manejo e nutrição, com um adequado balanço de nutrientes. Entretanto, um balanço de nutriente positivo por si só não é capaz de proporcionar a máxima resposta da cultura, sendo a limitação climática o fator mais limitante para a produção de grãos, como observado no presente estudo, em sistemas de cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura e feijão-caupi em sucessão.

Segundo Pierre et al. (2022), a consorciação de milho com leguminosas reduz a produtividade do milho, em razão dos problemas de competição que podem aparecer entre as culturas e do efeito negativo do sombreamento no crescimento do milho, os quais são praticamente nulos no monocultivo, favorecendo seu desenvolvimento.

O sucesso do feijão-caupi em sucessão ao consórcio de milho com culturas de cobertura em SPD depende do manejo adequado do consórcio antecessor, devendo ser os consórcios planejados para que seus efeitos benéficos reflitam sobre a cultura posterior. Da mesma forma, o balanço de nutriente dependerá da produtividade obtida, que irá aumentar ou diminuir a exportação de grãos, tornando o balanço maior ou menor nos sistemas, e do quanto cada nutriente será ciclado pela cobertura utilizada. Portanto, deve-se encontrar um equilíbrio no consórcio com as plantas de coberturas, para que se tenha um equilíbrio de produção entre as culturas principais, no caso o milho e o caupi, de forma que ambas tenham retorno satisfatório de produção.

4 Conclusão

O balanço final de nitrogênio e fósforo no solo não foi afetado pelas diferentes plantas de cobertura no consórcio com milho e feijão-caupi em sucessão, enquanto o balanço final de potássio foi menor nos cultivos de milho com crotalária, com braquiária e feijão guandu-anão e com braquiária e crotalária.

5 Referências

AMADORI, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; CASALI, C. A.; CANALLI, L. B. D. S.; CALEGARI, A.; DIECKOW, J. Soil organic matter fractions in an oxisol under tillage systems and winter cover crops for 26 years in the Brazilian subtropics. **Bragantia**, v. 81, e3622, 2022. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210352>

AMORIM, S. P. N.; BOECHAT, C. L.; DUARTE, L. S. L.; ROCHA, C. B.; CARLOS, F. S. Grasses and legumes as cover crops affect microbial attributes in oxisol in the cerrado (savannah environment) in the northeast region. **Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 31 – 42, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n104rc>

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SANTOS, A. A.; SOBRINHO, C. A.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. S.; ROCHA, M. M.; CARDOSO, J. M.; SILVA, P. H. S.; RIBEIRO, V. Q. Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 108 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/66591/cultivo-do-feijao-caupi-vigna-unguiculata-l-walp>. Acesso em 30 mai 2023.

BRANDÃO, S. DA S.; SALVIANO, A. M.; OLSZEWSKI, N.; GIONGO, V. Green manure contributing for nutrients cycling in irrigated environments of the Brazilian semi-arid. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 519-525, 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1499.519-525>

CARDOSO, M. J.; MELO, F. B.; RIBEIRO, V. Q. Population density on cowpea cultivars with different growth habits in the matopiba region. **Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 235 – 239, 2018. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n127rc>

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Brasília, DF, v.10 – Safra 2022/23, n.7 - Sétimo levantamento, p. 1-106, abril 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em jun 2023.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistence and nutrients release of forage turnip straw utilized as mulching in no-tillage crop system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 1, p. 161–168, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000200009>

FERREIRA, A. C. B.; BORIN, A. L. D. C.; LAMAS, F. M.; FERREIRA, G. B.; RESENDE, A. V. Exchangeable potassium reserve in a Brazilian savanna Oxisol after nine years under different cotton production systems. **Scientia Agricola**. v.79, n.4, e20200339, 2022. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0339>

FREITAS, M. S. C.; SOUTO, J. S.; GONÇALVES, M.; ALMEIDA, L. E. S.; SALVIANO, A. M.; GIONGO, V. Decomposition and Nutrient Release of Cover Crops in Mango Cultivation in Brazilian Semi-Arid Region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43:e0170402, 2019. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20170402>

LIMA, P. L. T.; SILVA, M. L. N.; QUINTON, J. N.; BATISTA, P. V. G.; CÂNDIDO, B. M.; CURI, N. Relationship among Crop Systems, Soil Cover, and Water Erosion on a Typic Hapludox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, e0170081, 2018. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20170081>

LOPES, V. A.; WEI, M. C. F.; CARDOSO, T. M.; MARTINS, E. S.; CASAGRANDE, J. C.; MARIANO, E. D. Phosphorus acquisition from phosphate rock by soil cover crops, maize, and a buckwheat–maize cropping system. **Scientia Agricola**. v.79, n.4, e20200319, 2022. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0319>

MATUSSO, J. M. M.; MICHERU-MUNA, M. Effects of Different Maize (*Zea mays* L.) – Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) Intercropping Patterns on Yields and its Economics. **Standard Global Journal of Scientific Research**, v. 1, n.2, p. 39 - 47, 2014. <https://dx.doi.org/10.5897/JCO2013.0106>

OLIVEIRA, R. M.; OLIVEIRA, R. A.; CASTRO, T. R.; BOTELHO, M. E.; RODRIGUES, R. D.; PLAZAS, G. M. R.; FRANCO, T. M.; OLIVEIRA, J. T. Análise de trilha do teor de fósforo nos diferentes constituintes do milho irrigado. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, e16811225568, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25568>

OLIVEIRA, S. M.; ALMEIDA, R. E. M.; PIEROZAN JUNIOR, C.; REIS, A. F. B.; SOUZA, L. F. N.; FAVARIN, J. L. Contribution of corn intercropped with Brachiaria species to

nutrient cycling. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, e55018, 2019. <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4955018>

PARIZ, C. M.; COSTA, N. R.; CRUSCIOL, C. A. C.; CASTILHOS, A. M.; MEIRELLES, P. R. L.; CALONEGO, J. C.; ANDREOTTI, M.; SOUZA, D. M.; CRUZ, I. V.; LONGHINI, V. Z.; PROTES, V. M.; SARTO, J. R. W.; PIZA, M. L. S. T.; MELO, V. F. P.; SEREIA, R. C.; FACHIOLLI, D. F.; ALMEIDA, F. A.; SOUZA, L. G. M.; FRANZLUEBBERS, A. J. An innovative corn to silage-grass-legume intercropping system with oversown black oat and soybean to silage in succession for the improvement of nutrient cycling. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 1-20, 2020. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.544996>

PIERRE, J. F.; LATOURNERIE-MORENO, L.; GARRUÑA-HERNÁNDEZ, R.; JACOBSEN, K. L.; GUEVARA-HERNÁNDEZ, F.; LABOSKI, C. A. M.; RUIZ-SÁNCHEZ, E. Maize legume intercropping systems in southern Mexico: A review of benefits and challenges. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.52, n. 11, e20210409, 2022. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210409>

RAY, K.; BANERJEE, H.; DUTTA, S.; SARKAR, S.; MURRELL, T. S.; SINGH, V. K.; MAJUMDAR, K. Macronutrient management effects on nutrient accumulation, partitioning, remobilization, and yield of hybrid maize cultivars. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1307, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01307>

MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D. C.; SOUSA, F. de A. S.; GOMES FILHO, M. F. Análise climatológica, classificação climática e variabilidade do balanço hídrico climatológico na bacia do Rio Uruçuí Preto, PI. **Revista Brasileira de Geografia e Física**, 06:652–664, 2013. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v6i4.233056>

ROSOLEM, C. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; VOLF, M. R.; NASCIMENTO, C. A. C.; MARIANO, E. Potassium dynamics in the soil-plant system. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.10, p. 283-341, 2019.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. Á.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 5. ed., rev. e ampl. 356 p.: il. color. ISBN: 978-85-7035-800-4.

SILVA, C.G.M.; RESENDE, A. V.; MARTINEZ GUTIÉRREZ, A.; MOREIRA, S. G.; BORGHI, E.; ALMEIDA, G. O. Macronutrient uptake and export in transgenic corn under two levels of fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p.1363-1372, 2018. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001200009>

SILVA, E. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; MALLMANN, M. S.; PEREIRA, M. A.; PONS, S. S.; FOGGIATO, W. S. Soil conservation management with cover crops: effects on critical energy levels, release and dispersion of aggregates. **Bragantia**, v. 78, n. 3, p.444-453, 2019. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20180323>

SILVA, F. S. **Manual de análises de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Embrapa, Brasília, 2011.

STEINER, F.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M. Phosphorus and potassium balance in soil under crop rotation and fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 6, p. 2173-2186, 2012. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n6p2173>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.

THOMÉ, H. M.; SEIDEL, E. P.; STEIN, J. M.; PAN, R.; RIBEIRO, L. L. O. Propriedades físicas de Latossolo Vermelho após milho e plantas de cobertura cultivadas em monocultivo ou consorciada. **Reserch, Society and Development**, v. 10, n. 9, e39210927493, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i9.17493>

TIECHER, T.; CALEGARI, A.; CANER, L.; RHEINHEIMER, D. S. Soil fertility and nutrient budget after 23-years of different soil tillage systems and winter cover crops in a subtropical Oxisol. **Geoderma**, v. 308, p. 78-85, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.028>

VERONEZI, S. D. F.; RIBEIRO, L. M.; CECCON, G. Uso de *Azospirillum brasilense* em milho safrinha solteiro e consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 12, n. 4, p. 348-360, 2018. <https://doi.org/10.18011/bioeng2018v12n4p349-360>

VOLF, M. R.; GUIMARÃES, T. M.; SCUDELETTI, D.; CRUZ, I. V.; ROSOLEM, C. A.
Potassium dynamics in ruzigrass rhizosphere. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.42,
e0170370, 2018. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20170370>