

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITOS DE DOSES CRESCENTES DE POLIACRILAMIDA ANIÔNICA
SOBRE PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NA PRODUÇÃO DE
BIOMASSA DO MILHO**

Júlia de Paula Cau

Jaboticabal – SP

2º Semestre/2025

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITOS DE DOSES CRESCENTES DE POLIACRILAMIDA ANIÔNICA
SOBRE PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NA PRODUÇÃO DE
BIOMASSA DO MILHO**

Júlia de Paula Cau

Orientador: Prof. Dr. Douglas Henrique Bandeira

Trabalho apresentado à
Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias -
UNESP, Campus de
Jaboticabal, para
graduação em
ENGENHARIA
AGRONÔMICA.

Jaboticabal – SP

2º Semestre/2025

C371e Cau, Júlia de Paula
Efeitos de doses crescentes de Poliacrilamida Aniônica sobre propriedades físicas do solo e na produção de biomassa do milho / Júlia de Paula Cau. -- Jaboticabal, 2026
30 p. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Douglas Henrique Bandeira

1. Conservação do solo. 2. Agregados do solo. 3. Poliacrilâmida. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

JÚLIA DE PAULA CAU

EFEITOS DE DOSES CRESCENTES DE POLIACRILAMIDA ANIÔNICA SOBRE PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA DO MILHO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Henrique Bandeira
Coorientador (se houver): Marcílio Vieira Martins Filho

Área de Concentração: Conservação do Solo e da Água

Data da defesa: 02 / 12 / 2025

(X) Aprovado

() Reprovado

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br DOUGLAS HENRIQUE BANDEIRA
Data: 04/12/2025 13:50:46-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Douglas Henrique Bandeira
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
gov.br NILTON EUGENIO MARIO
Data: 04/12/2025 15:09:09-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Nilton Eugênio Mário
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
gov.br WILIAN CARLO DEMETRIO
Data: 04/12/2025 17:58:38-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Wilian Carlo Demetrio
ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (USP)

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: _____ / _____ / _____

Documento assinado digitalmente
gov.br MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ
Data: 14/04/2026 15:03:35-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. José Eduardo Corá
Chefe do Departamento

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar com fé e sabedoria na minha trajetória.

Agradeço a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, por me capacitar e me tornar a profissional que sou hoje.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Douglas Henrique Bandeira, pela paciência, pela dedicação e pelos ensinamentos transmitidos ao longo da realização deste trabalho e da graduação.

À minha família, pelo amor incondicional, pelo exemplo de determinação e pela base sólida que sempre me manteve firme diante dos desafios.

Ao Lucas, meu namorado, por compreender minha rotina intensa, por me apoiar nos momentos de cansaço e por ser fonte de alegria e amor em meio a dias tão corridos.

À República Americana, por terem sido o meu lar durante todos esses anos tão intensos da minha vida, mostrando o significado de respeito, companheirismo e amor.

Aos colegas, professores e todos que contribuíram diretamente ou indiretamente para a execução deste trabalho, deixo aqui minha sincera gratidão.

E por fim, agradeço a mim mesma, por não desistir, e por acreditar que cada esforço traria aprendizado e crescimento.

Muito obrigada!

ÍNDICE

1. RESUMO	VII
2. SUMMARY	VIII
3. INTRODUÇÃO	9
4. OBJETIVO	11
5. MATERIAL E MÉTODOS	12
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
7. CONCLUSÃO	25
8. LITERATURA CITADA	26

1. RESUMO

A conservação e o manejo eficiente do solo são fatores fundamentais para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e o aumento da produtividade das culturas. Nesse cenário, a utilização de condicionantes do solo, como a Poliacrilamida Aniônica (PAM), surge como uma estratégia inovadora e eficaz para aprimorar a estrutura do solo, favorecer a infiltração de água e minimizar perdas por erosão. O trabalho avaliou o efeito de doses crescentes de poliacrilamida aniônica (PAM) nos atributos físicos do solo e na biomassa aérea do milho em área com declividade moderada. Foram analisadas densidade, porosidade e estabilidade de agregados para entender a influência do polímero na estrutura do solo. O experimento foi na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP/FCAV, localizada em Jaboticabal, São Paulo. Foram utilizadas parcelas de 5 m x 12 m (60 m²), com três repetições por tratamento. Os tratamentos consistiram nas doses crescentes de 0, 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹ de PAM. O solo foi preparado de forma convencional, com uma aração e duas gradagens. O plantio seguiu as curvas de nível, perpendicularmente à declividade média de 5% do terreno. A aplicação das doses de PAM foi feita à lanço, após a semeadura da cultura. Os atributos físicos do solo avaliados foram a macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e estabilidade de agregados em água, analisados por meio de amostragens, em três profundidades, antes do início do experimento e após o término do ciclo da cultura. Ainda, a massa verde de resíduos também foi determinada. Os resultados indicaram melhorias significativas nos atributos físicos do solo, especialmente na camada superficial, evidenciadas pela redução da microporosidade e pelo aumento da macroporosidade, em decorrência da maior estabilidade dos agregados. Além disso, a aplicação de poliacrilamida aniônica (PAM) promoveu incremento na produção de biomassa da parte aérea do milho, favorecendo a proteção e a conservação da superfície do solo. Conclui-se, portanto, que a utilização de PAM contribui para o aprimoramento da qualidade física do solo e para o melhor desempenho da cultura do milho, configurando-se como uma prática conservacionista eficiente e sustentável.

Palavras-chave: Conservação do solo; Agregados do solo; Poliacrilamida.

2. SUMMARY

Soil conservation and efficient management are fundamental factors for the sustainability of agricultural systems and increased crop productivity. In this context, the use of soil conditioners such as anionic polyacrylamide (PAM) has emerged as an innovative and effective strategy to improve soil structure, enhance water infiltration, and minimize erosion losses. This study evaluated the effects of increasing doses of anionic polyacrylamide (PAM) on soil physical attributes and maize aboveground biomass in an area with moderate slope. Soil bulk density, porosity, and aggregate stability were analyzed to assess the influence of the polymer on soil structure. The experiment was conducted at the Faculty of Agricultural and Veterinary Sciences (UNESP/FCAV), located in Jaboticabal, São Paulo, Brazil. Plots measuring 5 m × 12 m (60 m²) were used, with three replicates per treatment. Treatments consisted of increasing PAM doses of 0, 25, 50, 75, and 100 kg ha⁻¹. Soil preparation was performed under conventional tillage, consisting of one plowing followed by two harrowings. Planting was carried out along contour lines, perpendicular to the average slope of 5%. PAM doses were broadcast-applied after crop sowing. The soil physical attributes evaluated included macroporosity, microporosity, total porosity, soil bulk density, and water-stable aggregates, assessed through sampling at three depths before the beginning of the experiment and after the end of the crop cycle. In addition, green residue biomass was also determined. The results indicated significant improvements in soil physical attributes, especially in the surface layer, evidenced by reduced microporosity and increased macroporosity due to greater aggregate stability. Furthermore, the application of anionic polyacrylamide (PAM) increased maize aboveground biomass production, contributing to soil surface protection and conservation. Therefore, it is concluded that PAM application improves soil physical quality and maize performance, representing an efficient and sustainable conservation practice.

Keywords: Soil conservation; Soil aggregates; Polyacrylamide.

3. INTRODUÇÃO

O solo é um sistema vivo e complexo que desempenha um papel fundamental na produção de alimentos e na manutenção dos ecossistemas. Em sistemas agrícolas, o manejo do solo em prol da conservação deste recurso natural é crucial, visto que solos mal manejados perdem estrutura, fertilidade e funcionalidade (TENG et al., 2024). Por vezes, atividades agropecuárias causam desequilíbrios ao remover coberturas vegetais sem estratégias de manejo corretas (FRANCAVIGLIA et al., 2023).

Na década de 1960, ocorreram mudanças nos sistemas agrícolas que impulsionaram a produção brasileira, entre elas a Revolução Verde, que substituiu o modelo tradicional pelo convencional. Desde então, o agricultor vive cercado de tecnologias, mecanizações e insumos externos com utilizações massivas para um alcance cada vez maior por produtividade. Entretanto, por vezes, o uso de produtos químicos em excesso e a falta de conhecimentos técnicos e atualizados, levam o produtor rural a poluir e acelerar processos erosivos, modificando paisagens de forma drástica (CAMPAGNOLLA & MACÊDO, 2022).

Nesse contexto, práticas conservacionistas como o plantio direto e a rotação de culturas tornaram-se amplamente recomendadas não apenas para a agricultura, mas também para os sistemas pecuários e florestais. Tais práticas são essenciais para a manutenção da qualidade do solo, da cobertura vegetal e da sustentabilidade produtiva (DASSOU et al., 2024). No caso da pecuária leiteira, por exemplo, a adoção dessas estratégias é especialmente relevante, uma vez que muitos produtores dependem de grandes volumes de silagem de milho para a alimentação de rebanhos confinados e, ao não realizar a rotação de culturas, acabam contribuindo para o esgotamento do solo, o aumento da infestação por plantas daninhas e a redução da biomassa superficial, comprometendo a produtividade e o equilíbrio ambiental (MATEUS & SANTOS, 2012).

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie originária da América do Norte e destaca-se como um dos cereais mais cultivados e produzidos no mundo, devido à sua ampla adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas e ao elevado

valor nutricional (BOIKO et al., 2022). Suas múltiplas formas de utilização abrangem desde a alimentação humana e animal até a produção industrial de grãos e derivados (COSER, 2010). Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024), na safra 2023/2024, foram cultivados aproximadamente 21,06 milhões de hectares, resultando em uma produção de 115,72 milhões de toneladas e produtividade média de 5.495 kg ha⁻¹, consolidando o milho como uma das principais culturas do agronegócio brasileiro.

Além de sua relevância econômica e social, o milho desempenha papel estratégico em diversos sistemas de produção agrícola, especialmente na integração lavoura-pecuária e na produção de silagem, garantindo aporte nutricional ao rebanho e eficiência no uso do solo (CRUZ et al., 2013). Contudo, o desempenho produtivo dessa cultura está intimamente relacionado à qualidade física do solo, que influencia diretamente processos de aeração, infiltração de água, desenvolvimento radicular e disponibilidade de nutrientes (MOTTIN et al., 2022).

Sendo assim, a manutenção de solos com adequada estrutura, porosidade e estabilidade de agregados é essencial para maximizar o rendimento de grãos e a produção de biomassa vegetal, ao mesmo tempo em que favorece a proteção da superfície do terreno contra a erosão hídrica e eólica (LI et al., 2025).

A utilização de polímeros aniônicos, como a poliacrilamida aniônica (PAM), tem se mostrado uma alternativa promissora para a melhoria dos atributos físicos e químicos do solo, especialmente em áreas agrícolas suscetíveis à degradação estrutural. O PAM é um polímero sintético de cadeia longa. Ele age como um fortalecedor, sendo capaz de unir as partículas do solo, tornando-as maiores e mais pesadas. Tal fator dificulta a movimentação destas partículas sob efeito dos fatores ambientais (XU et al., 2025). Como consequência, há melhora significativa na infiltração de água, redução da formação de crostas superficiais e mitigação de perdas por erosão hídrica, fatores essenciais para a manutenção da qualidade física do solo (LIU et al., 2022).

Segundo McNeal et al., 2017, o PAM tem demonstrado ganhos expressivos na estrutura do solo e na eficiência do uso da água pelas plantas. Além de benefícios físicos, a PAM pode também influenciar atributos químicos, como o aumento da retenção de nutrientes e a redução de perdas de partículas coloidais, melhorando o ambiente radicular e, conseqüentemente, o desempenho das culturas agrícolas.

Entretanto, embora amplamente estudada em regiões de clima temperado, a aplicação de poliacrilamida aniônica em solos tropicais ainda é pouco explorada no Brasil. A elevada variabilidade de textura, mineralogia e teor de matéria orgânica dos solos tropicais impõe desafios adicionais à compreensão da dinâmica e da eficiência da PAM nesses ambientes. Assim, estudos conduzidos sob condições tropicais tornam-se fundamentais para avaliar os efeitos da PAM sobre os atributos físicos e químicos do solo, possibilitando recomendações técnicas adequadas às realidades regionais.

Diante do exposto, a hipótese para o presente estudo é de que a aplicação de doses crescentes de PAM promove melhorias significativas nos atributos físicos do solo, especialmente na estabilidade de agregados, macroporosidade, e infiltração de água, refletindo em maior produção de biomassa da parte aérea da cultura do milho, cultivado em Latossolo Vermelho Eutrófico, sob condições de clima tropical.

Ainda, o presente estudo justifica-se pela necessidade de ampliar o conhecimento sobre o uso de PAM em solos brasileiros, visando contribuir para a conservação do solo, o aumento da eficiência produtiva e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

4. OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de Poliacrilamida Aniônica (PAM) em doses crescentes sobre os atributos físicos do solo e sobre a produção de biomassa da parte aérea da cultura do milho, em área com declividade moderada, sob preparo convencional do solo.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Localização

O experimento foi realizado nas dependências da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus de Jaboticabal-SP, localizada a 21°14'51" S e 48°17'04" O e 605 m de altitude, ilustrada na figura 1.

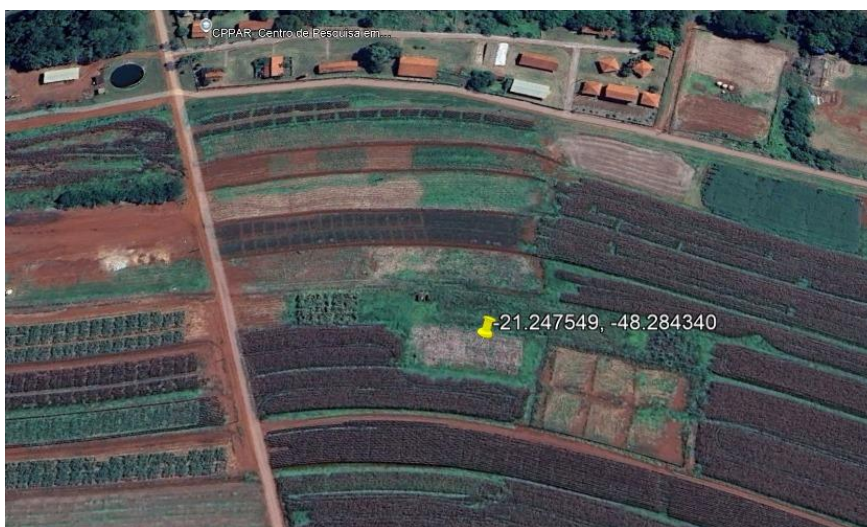


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Google Earth Pro.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Escuro Eutrófico (EMBRAPA, 2013). O clima observado na região é classificado conforme o sistema de Köppen, sendo do tipo Aw (tropical, caracterizado por invernos secos). A região de Jaboticabal (SP) apresenta clima tropical com estação seca bem definida, concentrando a maior parte das chuvas entre os meses de outubro e abril. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.446 mm, sendo que os meses mais chuvosos são janeiro (271 mm), dezembro (234 mm) e novembro (187 mm), enquanto julho e agosto registram os menores volumes, com apenas 21 mm e 22 mm, respectivamente (CLIMATEMPO, 2024).

Em relação às temperaturas, as médias variam ao longo do ano entre mínimas de 14 °C (julho) e máximas de até 30 °C (setembro e outubro), resultando em uma média anual de cerca de 22,5 °C. No período de cultivo do milho, que geralmente ocorre no outono-inverno, a região apresenta temperaturas médias amenas e precipitação reduzida, como mostra a figura 2,

o que reforça a importância de estratégias de conservação de água no solo (CLIMATEMPO, 2024).

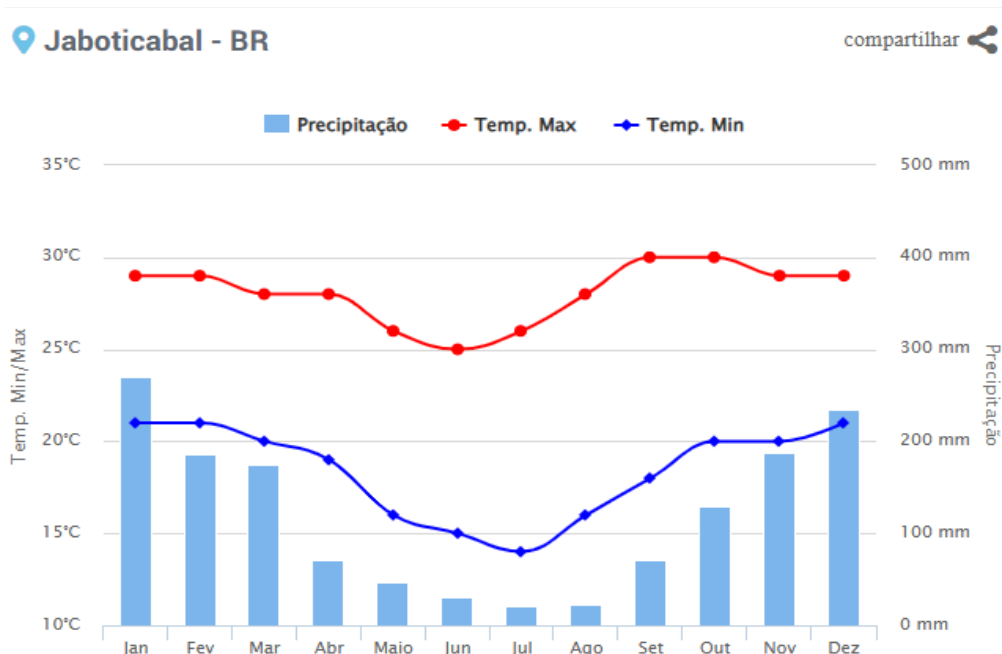


Figura 2. Precipitações e Temperatura média anual em Jaboticabal/SP. Fonte: Climatempo, 2024.

5.2. Instalação do experimento

Para conduzir o experimento, foram delimitadas parcelas de 5 m x 12 m (60 m²) com marcações de extremidades feitas com estacas de bambu cravadas no solo, mas sem delimitação física, conforme mostra a figura 3. A declividade da área foi mensurada com o uso de um clinômetro, observamos 3.2° de inclinação e, através da tabela de equivalência, obtivemos um resultado de 5,5% a 6% de declividade. Uma vez que esta declividade não foi homogênea, optamos por trabalhar sob delineamento de blocos ao acaso com direção transversal de plantio e espaçamento de 40 cm e 5 plantas por metro linear.



Figura 3. Demarcação das unidades experimentais no campo. Fonte: Murilo Augusto Destefani.

5.3. Preparo do solo

A fim de preparar o solo para o recebimento da PAM e manter a camada superficial homogênea, foi realizado o sistema de cultivo convencional, ou seja, uma aração seguida de duas gradagens. Todas as parcelas seguiram o mesmo padrão de cultivo e manejo.

5.4. Amostragem

As amostras foram coletadas em dois momentos, antes da semeadura e após o desenvolvimento total da cultura do milho (ponto de colheita).

Além disso, as amostras de solo foram divididas em dois grupos: estrutura preservada e estrutura deformada, ilustradas nas figuras 4 e 5, respectivamente.

Para coletar o solo mantendo a estrutura preservada, foi necessário o uso de anéis volumétricos metálicos com borda cortante, com 4 cm de diâmetro e 5 cm de altura (volume de 97,63 cm³). Foram coletadas amostras com profundidade de 0 a 5 cm, de 5 a 10 cm e de 10 a 20 cm.

Em seguida, para coletar as amostras deformadas, foram utilizadas apenas uma pá de corte e espátula, nas mesmas profundidades.



Figura 4. Amostras indeformadas. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 5. Amostras deformadas. Fonte: Arquivo pessoal.

5.5. Análises físicas

A pesquisa incluiu a análise de propriedades físicas como densidade do solo, macro e microporosidade, e estabilidade de agregados em água, visando compreender os efeitos do polímero na estrutura e funcionalidade do solo.

Seguindo a clássica metodologia da Embrapa – 1997, o volume total de poros foi estimado a partir da relação entre a densidade do solo e a densidade das partículas.

Para quantificar os microporos, as amostras foram previamente saturadas e, posteriormente, submetidas a uma tensão de 6 kPa em mesa de tensão, conforme o mesmo autor. A macroporosidade foi obtida subtraindo o volume de

microporos do volume total de poros. A densidade do solo, por sua vez, foi determinada com base na relação entre a massa seca a 105 °C e o volume da amostra, utilizando-se o método do anel volumétrico descrito por Blake & Hartge, 1986.

Para determinar a estabilidade de agregados em água, foi necessário peneirar as amostras com estrutura deformada, ficando apenas com os agregados que passaram na peneira de 8 mm e ficaram retidos na peneira de 4,75 mm. A metodologia utilizada para realizar o teste via agitação vertical foi a de Yoder, 1936, e a metodologia de expressão de resultados em diâmetro médio ponderado foi a de Kemper & Chepil, 1965.

Para a determinação da biomassa da parte aérea, logo após a colheita da cultura foram coletadas, ao acaso em cada parcela, três amostras por meio do auxílio de um quadro de dimensões internas de 0,50 m x 0,50 m. Após a coleta, foi realizada no laboratório a avaliação de massa fresca mantida em superfície. Estas amostras foram pesadas e extrapoladas para quantidade obtida em $t\ ha^{-1}$, determinando a produção de massa verde dos resíduos do milho.

Todos os dados foram planilhados e posteriormente submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias obtidas foram comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, para avaliar as diferenças entre as doses de PAM aplicadas no solo e realizar conclusões estatísticas e agronômicas.

5.6. Poliacrilamida aniônica – PAM

A poliacrilamida foi aplicada à lanço na camada superficial das parcelas imediatamente após a semeadura do milho. Por ser um produto de baixa mobilidade, não foi realizada a incorporação da mesma, mantendo-o de forma uniforme na superfície.

O polímero utilizado foi a PAM aniônica (Superfloc A-110 Flocculent, fabricado pela Kemira Water Solutions BV, Holanda), com peso molecular de 1×10^7 , 15% de hidrólise e 80% de matéria ativa. Aos tratamentos que receberam a PAM, foram 3 repetições com doses utilizadas de 0, 25, 50, 75 e 100 $kg\ ha^{-1}$, totalizando 15 parcelas experimentais.

5.7. Milho - Variedade e espaçamento utilizado

A variedade de milho escolhida para o experimento foi Dekalb 390 pro4. Segundo informações técnicas da Bayer, trata-se de um híbrido com potencial produtivo para safra de verão tropical, ciclo médio, mas classificado como precoce. Em sua fase de maturidade fisiológica, a planta atinge altura de 250 cm e altura de inserção da espiga de 134 cm, com peso médio de mil grãos de 360 gramas.

O plantio teve início no dia 10 de dezembro de 2024 e, após 121 dias exatos de cultivo, realizamos a colheita no dia 10 de abril de 2025.

No plantio, ajustamos a população para 88.000 plantas por hectare para maximizar a produção de milho, com espaçamento de 4 sementes por metro linear e 45 cm entre linhas.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de diferentes doses de poliacrilamida aniônica (PAM) influenciou de forma distinta os atributos físicos do solo nas camadas de 0–5 cm, 5–10 cm e 10–20 cm, antes e após a cultura do milho.

Na camada de 0 – 5 cm (Tabela 1), os resultados indicaram redução significativa da microporosidade nas doses de 25, 75 e 100 kg ha⁻¹ após o cultivo. Esse comportamento pode estar relacionado à reorganização estrutural promovida pela PAM, que induz a formação de agregados maiores e mais estáveis, diminuindo a proporção de poros menores (ALBALASMEH et al., 2021). Essa redução nos microporos pode ser considerada benéfica para o desenvolvimento radicular inicial, pois está associada ao aumento da macroporosidade e à melhoria das condições de aeração e drenagem.

Os efeitos sobre a macroporosidade foram mais expressivos na camada superficial (0–5 cm), com aumento significativo nas doses de 50, 75 e 100 kg ha⁻¹, após o cultivo (Tabela 1).

O aumento na macroporosidade é resultado da melhoria na estabilidade de agregados, promovida pela ação da PAM na floculação de partículas finas e na prevenção do selamento superficial (XU et al., 2025). Esse aumento na proporção de poros maiores contribui positivamente para a infiltração de água e

para a disponibilidade de oxigênio às raízes, aspectos fundamentais para o desenvolvimento inicial do milho (SHARMA & KUMAR, 2023).

Tabela 1. Valores de microporos, macroporos, porosidade total e densidade do solo na profundidade de 0 a 5 cm.

Doses (kg ha ⁻¹)	Microporos		Macroporos		Porosidade total		Densidade solo	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
0	21.5 A	22.6 B	27.1 Aa	31.8 Ab	48.7 Aa	54.5 Aa	1.26 Ba	1.13 Ab
25	24.2 Aa	19.5 ABb	25.4 Aa	30.6 Ab	49.6 Aa	50.1 Aa	1.10 ABa	1.16 Aa
50	22.9 Aa	20.0 ABa	27.6 Aa	35.0 Ab	50.6 Aa	55.1 Aa	1.10 ABa	1.21 Aa
75	26.3 Aa	18.6 ABb	27.5 Aa	34.7 Ab	53.9 Aa	53.4 Aa	1.11 ABa	1.20 Aa
100	23.8 Aa	17.3 Ab	25.8 Aa	41.3 Bb	49.7 Aa	58.7 Ab	1.08 Aa	1.18 Aa
CV (%)	9.45		7.78		6.73		5.97	

Médias seguidas da mesma letra: maiúsculas em uma coluna e minúsculas em uma linha não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV: Coeficiente de variação.

A porosidade total apresentou pequena tendência de aumento nas doses mais altas de PAM na camada de 0–5 cm, embora sem diferenças estatísticas significativas. Essa tendência é atribuída ao aumento da macroporosidade, como já observado por Albalasmeh et al., 2021.

Em relação à densidade aparente do solo, a principal mudança significativa foi observada na camada de 0–5 cm para a testemunha (0 kg ha⁻¹), que apresentou redução de 10,3% após o cultivo. Esse resultado pode estar associado à ação de descompactação natural promovida pelo crescimento das raízes do milho, que, em solos não protegidos por PAM, podem ser o principal fator de melhora da estrutura superficial (COLOMBI & KELLER, 2019).

Nas doses de PAM, não foram observadas diferenças significativas na densidade aparente, antes e após o milho, em nenhuma das camadas analisadas. Essa estabilidade da DA é um indicativo de que a PAM auxiliou na manutenção da estrutura física do solo, prevenindo compactações indesejadas mesmo após o cultivo.

Tabela 2. Valores de microporos, macroporos, porosidade total e densidade do solo na profundidade de 5 a 10 cm.

Doses (kg ha ⁻¹)	Microporos		Macroporos		Porosidade total		Densidade solo	
	----- % -----		----- % -----		----- % -----		-----g cm ⁻³ -----	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
0	30.6 ABa	31.4 Aa	26.6 Aa	25.3 Aa	57.3 ABa	56.7 Aa	1.16 Aa	1.15 Aa
25	34.6 Ba	38.3 ABa	24.4 Aa	21.9 Aa	59.0 ABa	60.2 Aa	1.21 Aa	1.13 Aa
50	39.1 Ba	41.5 Ba	26.1 Aa	20.2 Aa	65.2 Ba	61.8 Aa	1.23 Aa	1.18 Aa
75	31.8 ABa	40.1 ABb	25.0 Aa	20.9 Aa	56.9 ABa	61.0 Aa	1.18 Aa	1.15 Aa
100	24.7 Aa	37.3 ABb	24.6 Aa	20.7 Aa	49.3 Aa	58.1 Aa	1.21 Aa	1.10 Aa
CV (%)	10.36		16.34		8.97		6.28	

Médias seguidas da mesma letra: maiúsculas em uma coluna e minúsculas em uma linha não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV: Coeficiente de variação.

Na camada de 5–10 cm, houve um aumento nos teores de microporosidade de até 51% nas doses mais altas de PAM (Tabela 2). Esse resultado pode refletir um efeito indireto da PAM, promovendo melhor distribuição e rearranjo das partículas do solo em profundidade, associado ao crescimento das raízes do milho e à ação gravitacional da água no perfil (XU et al., 2025).

Na camada de 5–10 cm, os valores de macroporosidade apresentaram redução após o cultivo, indicando que, nessa profundidade, o tráfego e a compactação natural do solo não foram compensados pela ação da PAM (Tabela 2). Esse resultado reforça a observação de que os efeitos da PAM são mais concentrados nas camadas superficiais, como relatado por Zhang et al., 2022.

Nas camadas de 5–10 cm e 10–20 cm, a porosidade total se manteve relativamente constante, refletindo a estabilidade estrutural proporcionada tanto pelo condicionamento físico promovido pela PAM quanto pelo efeito do sistema radicular do milho.

Tabela 3. Valores de microporos, macroporos, porosidade total e densidade do solo na profundidade de 10 a 20 cm.

Doses (kg ha ⁻¹)	Microporos		Macroporos		Porosidade total		Densidade solo	
	----- % -----		----- % -----		----- % -----		-----g cm ⁻³ -----	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
0	25.7 Aa	25.3 Aa	21.0 Aa	24.3 Aa	46.7 Aa	49.6 Aa	1.27 Aa	1.21 Aa
25	30.4 ABa	32.8 ABa	19.3 Aa	19.0 Aa	49.7 Aa	51.8 Aa	1.27 Aa	1.29 Aa
50	34.1 Ba	36.1 Ba	15.0 Aa	18.0 Aa	49.1 Aa	54.1 Aa	1.28 Aa	1.31 Aa
75	28.9 ABa	28.1 Aa	15.4 Aa	17.9 Aa	44.4 Aa	46.1 Aa	1.25 Aa	1.34 Aa
100	23.4 Aa	28.6 ABa	21.9 Aa	19.7 Aa	45.3 Aa	49.8 Aa	1.27 Aa	1.32 Aa
CV (%)	10.94		19.70		11.19		5.06	

Médias seguidas da mesma letra: maiúsculas em uma coluna e minúsculas em uma linha não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV: Coeficiente de variação.

Em 10–20 cm (Tabela 3), os efeitos sobre os microporos foram discretos, com pequenas variações e ausência de significância estatística, o que é esperado, visto que a PAM aplicada superficialmente tem ação limitada em camadas subsuperficiais (SOJKA et al., 2007a).

Na camada de 10–20 cm, os teores de macroporosidade permaneceram praticamente inalterados, o que confirma a baixa mobilidade vertical da PAM e sua ação superficial limitada (Tabela 3).

Assim como na camada de 5-10 cm, não foram observadas diferenças significativas na densidade aparente, antes e após o milho, em nenhuma das camadas analisadas nas quais foram aplicadas a PAM. Isso é um indicativo de que a PAM facilitou a conservação da estrutura física do solo, reduzindo o risco de compactações indesejadas também depois do cultivo (XU et al., 2025).

Os resultados obtidos confirmam que a ação da PAM é mais evidente nas camadas superficiais do solo, especialmente entre 0 e 5 cm de profundidade, promovendo melhorias na macroporosidade e porosidade total, e reduzindo a densidade aparente superficial. Em camadas mais profundas (5–10 cm e 10–20 cm), os efeitos foram menos expressivos ou inexistentes, reforçando o entendimento de que a aplicação superficial de PAM atua principalmente onde há maior concentração do polímero e maior atividade de agregação e floculação (MAMEDOV et al., 2020).

O comportamento observado está em conformidade com diversos trabalhos da literatura que descrevem os efeitos da PAM na melhoria da qualidade física de solos agrícolas, especialmente em regiões com histórico de degradação estrutural, baixa estabilidade de agregados e suscetibilidade à compactação (XU et al., 2025; MAMEDOV et al., 2006).

A análise dos resultados de DMP (diâmetro médio ponderado) evidencia que a aplicação de PAM influenciou significativamente a estabilidade estrutural dos agregados, com efeito variável entre as diferentes profundidades do solo (Tabela 4).

Tabela 4. Valores de diâmetro médio ponderado (DMP), nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm (média das repetições).

Doses (kg ha ⁻¹)	DMP (0-5 cm)		DMP (5-10 cm)		DMP (10-20 cm)	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
0	2.71 Aa	2.81 Aa	2.52 Aa	2.87 Aa	2.17 Aa	2.49 Aa
25	2.58 Aa	3.26 ABb	2.42 Aa	3.73 Bb	2.14 Aa	2.65 Ab
50	2.89 Aa	3.96 Bb	2.84 Aa	4.29 BCb	2.47 Aa	2.83 Aa
75	2.98 Aa	4.85 Cb	2.49 Aa	4.94 CDb	2.11 Aa	2.51 Aa
100	2.83 Aa	5.22 Cb	2.49 Aa	5.36 Db	2.16 Aa	2.76 Ab
CV (%)	9.59		8.66		11.92	

Médias seguidas da mesma letra: maiúsculas em uma coluna e minúsculas em uma linha não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV: Coeficiente de variação.

Na camada superficial (0-5 cm), os valores de DMP mostraram aumento progressivo com o incremento das doses de PAM, especialmente após o cultivo do milho. Destaca-se que, na dose de 100 kg ha⁻¹, o DMP passou de 2,83 mm antes para 5,22 mm após o milho (aumento de 84%), com diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Esse comportamento indica que a PAM foi altamente eficiente na melhoria da estabilidade de agregados na superfície, resultado atribuído à sua capacidade de promover floculação de partículas finas, reduzindo a dispersão e aumentando a coesão dos agregados (NORONHA, 2018). Estudo como o de Lentz e Sojka, 1992, também relatam incrementos significativos de DMP em solos tratados com PAM, sobretudo em camadas superficiais.

Na camada de 5-10 cm, o efeito da PAM também foi evidente, com aumento expressivo do DMP nas doses a partir de 25 kg ha⁻¹. Na dose de 100 kg ha⁻¹, o DMP subiu de 2,49 mm para 5,36 mm (aumento de 115,26%) após o cultivo, configurando o maior incremento observado nesta camada. Esse resultado indica que, apesar da aplicação da PAM ter sido superficial, houve efeito indireto de reorganização estrutural em profundidade, possivelmente associado ao movimento de água no perfil, à migração parcial da PAM e à ação das raízes do milho, que favorecem o rearranjo de partículas e a formação de agregados maiores (SHARMA et al., 2025).

Os aumentos de DMP também foram observados na camada de 10-20 cm, mas de forma menos expressiva e com menor significância estatística, quando comparado às camadas superiores.

Na dose de 100 kg ha⁻¹, o DMP aumentou 27,78% (de 2,16 mm para 2,76 mm), enquanto na testemunha (0 kg ha⁻¹), o aumento foi de 14,75% (2,17 mm para 2,49 mm). Esses resultados indicam que, mesmo nas camadas mais profundas, houve um efeito residual da PAM e/ou influência do crescimento radicular, porém em menor intensidade.

Segundo Sojka et al., 2007b, a mobilidade vertical da PAM é bastante limitada, sendo sua ação mais concentrada na camada onde é aplicada. No entanto, efeitos indiretos de melhoria estrutural em camadas subsuperficiais podem ocorrer ao longo do tempo, especialmente quando combinados com a ação de sistemas radiculares ativos, como o da cultura do milho (ENTRY et al., 2002).

De forma geral, os resultados demonstram que a aplicação de PAM, mesmo em doses moderadas (25 a 50 kg ha⁻¹), aumentou significativamente a estabilidade de agregados nas camadas superficiais e intermediárias do solo. Os efeitos foram mais pronunciados nas camadas de 0–5 cm e 5–10 cm, com menor impacto na camada de 10–20 cm, o que está de acordo com as características físico-químicas da PAM, sua ação localizada e curto alcance vertical (MAMEDOV et al., 2010).

A melhora da estabilidade de agregados é um indicador importante de qualidade física do solo, com reflexos positivos sobre a infiltração de água,

controle de erosão, aeração e desenvolvimento radicular, reforçando o potencial agrônomo do uso de PAM como condicionante físico em solos argilosos de regiões tropicais.

A Figura 6 apresenta a produção de massa fresca de resíduos de milho (Mg ha^{-1}) em função de doses crescentes de poliacrilamida aniônica (PAM) aplicadas ao solo. A relação ajustada foi cúbica positiva até cerca de 100 kg ha^{-1} de PAM, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,973$, indicando excelente ajuste entre o modelo e os dados experimentais.

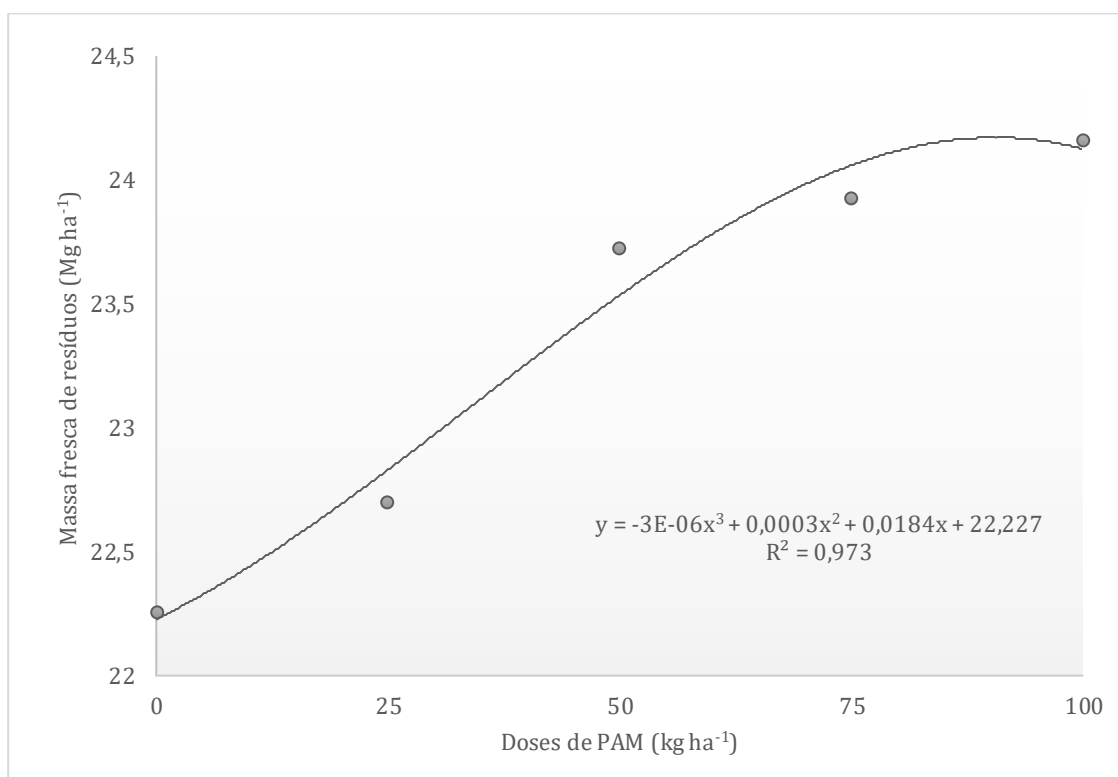


Figura 6. Valores de produtividade do milho (Mg ha^{-1}), em tratamentos com distintas doses de PAM (média das repetições).

A curva mostra incremento progressivo da biomassa fresca da parte aérea até a maior dose aplicada (100 kg ha^{-1}), partindo de cerca de $22,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ na testemunha (0 kg ha^{-1} de PAM) e atingindo aproximadamente $24,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ na dose máxima. Isso representa um acréscimo de $\sim 8,5\%$ na produção de massa verde residual em relação ao controle.

Esse comportamento sugere que o uso de PAM promoveu melhorias nos atributos físicos do solo, favorecendo o crescimento vegetativo e a acumulação de biomassa aérea, possivelmente por maior estabilidade de agregados e

redução da densidade aparente, melhor infiltração e retenção de água no perfil, melhor aeração radicular e conseqüente aumento na absorção de nutrientes.

Tais resultados corroboram observações de Xu et al., 2025, que relatam que a aplicação de PAM no solo melhora o ambiente físico-radicular, resultando em maior vigor e crescimento das culturas.

Os valores de 22 a 24 Mg ha⁻¹ de massa verde de resíduos observados estão dentro das faixas relatadas para híbridos modernos de milho sob preparo convencional e boa fertilidade do solo (LACOLLA et al., 2023).

Assim, a variedade Dekalb 390 PRO4, caracterizada por elevado potencial de biomassa e colmo robusto, apresenta desempenho coerente com a literatura e confirma que os valores do experimento refletem produtividade elevada de massa verde residual, típica de materiais genéticos de alto rendimento.

O modelo cúbico sugere que o ponto ótimo fisiológico pode estar próximo da dose máxima testada ($\approx 90\text{--}100$ kg ha⁻¹), após a qual a tendência tenderia à estabilização. Doses muito elevadas (>120 kg ha⁻¹) podem não promover ganhos adicionais ou até prejudicar o equilíbrio iônico e a difusão gasosa, conforme relatado por Lentz & Sojka, 2009.

7. CONCLUSÃO

A aplicação de poliacrilamida aniônica (PAM) em doses crescentes promoveu melhorias expressivas na qualidade física do solo, especialmente na camada superficial (0–5 cm), evidenciadas pelo aumento da macroporosidade e da estabilidade de agregados, bem como pela redução da microporosidade. Esses resultados indicam que a PAM atuou de forma eficiente na agregação de partículas e na manutenção da estrutura do solo, favorecendo as condições de aeração, infiltração e retenção de água.

Nas camadas subsuperficiais (5–10 e 10–20 cm), os efeitos foram menos pronunciados, confirmando a baixa mobilidade vertical do polímero e a predominância de sua ação na superfície. Ainda assim, observou-se tendência de reorganização estrutural em profundidade, possivelmente associada ao crescimento radicular do milho e ao movimento descendente da água no perfil do solo.

O incremento de aproximadamente 8,5% na produção de biomassa fresca da parte aérea, atingindo valores de até 24,3 Mg ha⁻¹, demonstra que a PAM contribuiu para o melhor desenvolvimento vegetativo do milho, refletindo o aprimoramento das condições físico-hídricas do solo. Assim, a utilização da PAM configura-se como uma prática conservacionista promissora para sistemas agrícolas tropicais, capaz de aliar aumento de produtividade à conservação da estrutura e funcionalidade do solo.

8. LITERATURA CITADA

ALBALASMEH, A. A.; HAMDAN, E. H.; GHARAIBEH, M. A.; EL HANANDEH, A. Improving aggregate stability and hydraulic properties of sandy loam soil by applying polyacrylamide polymer. **Soil and Tillage Research**, v. 206, p. 104821, 2021.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.). Methods of soil analysis. Madison: **Soil Science Society of America; American Society of Agronomy**, 1986. p. 363–375.

BOIKO, P.; KOVALENKO, N.; YURKEVYCH, Y.; VALENTIUK, N.; ALBUL, S. The history, current state and prospects for the implementation of elements of biologization for the efficient cultivation of corn in organic farm of the southern steppe of Ukraine. **International Journal of Ecosystems & Ecology Sciences**, v. 13, n. 1, 2022.

CAMPAGNOLLA, C.; MACÊDO, M. M. C. Revolução Verde: passado e desafios atuais. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 39, n. 1, p. e26952, 2022.

CLIMATEMPO. Climatologia de Jaboticabal – SP. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/468/jaboticabal-sp>. Acesso em: 19 jun. 2025.

COLOMBI, T.; KELLER, T. Developing strategies to recover crop productivity after soil compaction: a plant eco-physiological perspective. **Soil and Tillage Research**, v. 191, p. 156–161, 2019.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **12º levantamento: safra 2023/24**. Brasília: Conab, 2024.

COSER, E. Avaliação da incidência de pragas e moléstias na cultura do milho (*Zea mays L.*) crioulo e convencional no município de Xaxim – SC. 2010.

Monografia (Graduação) – Universidade Comunitária da Região de Chapecó, UNOCHAPECÓ, Chapecó, 2010.

CRUZ, J. C. et al. Milho: cultivares para 2013/2014. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2013.

DASSOU, A. G. et al. Conservation agriculture compared to conventional tillage improves the trade-off between ground-dwelling arthropod trophic groups for natural pest regulation in cotton cropping systems. **Global Ecology and Conservation**, v. 55, p. e03223, 2024.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**, 1997. 212 p. (Documentos, 1).

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2013. 353 p.

ENTRY, J. A.; SOJKA, R. E.; WATWOOD, M. E. Polyacrylamide preparation and sediment retention in rangeland and cropland soils. **Soil Science**, v. 167, n. 8, p. 527–534, 2002.

FRANCAVIGLIA, R.; ALMAGRO, M.; VICENTE-VICENTE, J. L. Conservation agriculture and soil organic carbon: principles, processes, practices and policy options. **Soil Systems**, v. 7, n. 1, p. 17, 2023.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A. (ed.). Methods of soil analysis. Madison: **American Society of Agronomy**, 1965. p. 499–510.

LACOLLA, G. et al. Maize yield response, root distribution and soil desiccation crack features as affected by row spacing. **Plants**, v. 12, n. 6, p. 1380, 2023.

LENTZ, R. D.; SOJKA, R. E. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration. **Soil Science**, v. 174, p. 565–571, 2009.

LENTZ, R. D.; SOJKA, R. E.; WALLANDER, C. Using polyacrylamide to reduce erosion and improve infiltration. **Soil Science**, v. 153, n. 3, p. 195–206, 1992.

LI, H. et al. Effects of soil porosity on water stability of aggregates. **Soil and Tillage Research**, v. 254, p. 106741, 2025.

LIU, W. et al. Emulsions stabilized by asphaltene-polyacrylamide-soil three-phase components: stabilization mechanism and concentration effects. **Separation and Purification Technology**, v. 302, p. 122157, 2022.

MAMEDOV, A. I. et al. Structure stability of cultivated soils from semi-arid region: comparing the effects of land use and anionic polyacrylamide application. **Agronomy**, v. 10, n. 12, p. 2010, 2020.

MAMEDOV, A. I.; HUANG, C.; LEVY, G. J. Antecedent moisture content and aging duration effects on seal formation and erosion in smectitic soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 3, p. 832–843, 2006.

MAMEDOV, A. I.; WAGNER, L. E.; HUANG, C.; NORTON, L. D.; LEVY, G. J. Polyacrylamide effects on aggregate and structure stability of soils with different clay mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 5, p. 1720–1732, 2010.

MATEUS, G. P.; SANTOS, N. D. Sistema plantio direto e a conservação dos recursos naturais. **Revista Pesquisa Technology**, v. 9, p. 1–5, 2012.

MCNEAL, J. P. et al. Application of polyacrylamide (PAM) through lay-flat polyethylene tubing: effects on infiltration, erosion, N and P transport, and corn yield. **Journal of Environmental Quality**, v. 46, n. 4, p. 855–861, 2017.

MOTTIN, M. C. et al. Efeito do cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura na produção de massa seca e nas propriedades físicas do solo. **Conjecturas**, v. 22, n. 9, p. 70–91, 2022.

NORONHA, C. R. B. Resiliência de solos do agreste pernambucano com pastagem sob ação de poliacrilamida. 2018.

SHARMA, P. et al. Biochar and anionic polyacrylamide modulated soil hydraulic functions catalyze water saving, root development and yield of basmati rice. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1660325, 2025.

SHARMA, P. K.; KUMAR, S. Soil air and plant growth. In: **Soil Physical Environment and Plant Growth: Evaluation and Management**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 155–174.

SOJKA, R. E. et al. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. **Advances in Agronomy**, v. 92, p. 75–162, 2007a.

SOJKA, R. E.; ENTRY, J. A.; LENTZ, R. D. Polyacrylamide (PAM) in agriculture: a review. **Soil Use and Management**, v. 23, p. 88–97, 2007b.

TENG, J. et al. Conservation agriculture improves soil health and sustains crop yields after long-term warming. **Nature Communications**, v. 15, n. 1, p. 8785, 2024.

XU, J. et al. Polyacrylamide-induced trade-offs in soil stability and ecological function: a multifunctional assessment in granite-derived sandy material. **Agronomy**, v. 15, n. 9, p. 2087, 2025.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Agronomy Journal**, v. 28, p. 337–351, 1936.

ZHANG, J. et al. Experimental investigation of the different polyacrylamide dosages on soil water movement under brackish water infiltration. **Polymers**, v. 14, n. 12, p. 2495, 2022.