

Agricultura biossalina, micorrizas arbusculares e carbono do solo no semiárido:

1. cultivo de palma forrageira adubada com esterco caprino

Saline agriculture, arbuscular mycorrhizae and soil carbon in the semiarid: 1. cultivation of forage palm fertilized with goat manure

Agricultura salina, micorrizas arbusculares y carbono del suelo en el semiárido: 1. cultivo de palma forrajera fertilizada con estiércol de cabra

Recebido: 18/11/2021 | Revisado: 17/12/2021 | Aceito: 15/06/2022 | Publicado: 18/06/2022

Amélia Macedo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3336-9168>

Embrapa Semiárido, Brasil

E-mail: ameliamacedo71@gmail.com

Gherman Garcia Leal de Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9605-1096>

Embrapa Semiárido, Brasil

E-mail: gherman.araujo@embrapa.br

Diana Signor Deon

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1627-3890>

Embrapa Semiárido, Brasil

E-mail: diana.signor@embrapa.br

Regina Lúcia Félix de Aguiar Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4618-9147>

Universidade de Pernambuco, Brasil

E-mail: regina.aguiar@upe.br

Resumo

No semiárido, o uso de águas salinas para irrigação na produção de forragem para os rebanhos é uma alternativa que pode contribuir para a segurança alimentar. O trabalho visa avaliar o efeito da irrigação com água salina e do uso de esterco caprino sobre a simbiose micorrízica e os teores de carbono do solo em área de semiárido cultivada com palma forrageira. Avaliou-se os efeitos de lâminas de água (0, 370, 520 e 700 mm), associadas a quatro doses de esterco caprino (0, 15, 30 e 45 t ha⁻¹), sobre o teor de carbono no solo, carbono na biomassa microbiana, a respiração basal, o número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) no solo e a colonização das raízes por FMA. A quantidade de água salina adicionada em diferentes não afetou os parâmetros avaliados. A adubação com esterco caprino aumentou o teor de carbono no solo e a respiração microbiana, mas reduziu a colonização das raízes de palma por FMA.

Palavras-chave: Salinidade do solo; Biomassa microbiana do solo; Respiração do solo; Fungos micorrízicos arbusculares; Adubação orgânica.

Abstract

In the semiarid region, the use of saline water for irrigation in the production of forage for livestock is an alternative that can contribute to food security. The work aims to evaluate the effect of irrigation with saline water and the use of goat manure on mycorrhizal symbiosis and soil carbon contents in a semiarid area cultivated with cactus forage. The effects of water depths (0, 370, 520 and 700 mm), associated with four doses of goat manure (0, 15, 30 and 45 t ha⁻¹), on the carbon content in the soil, were evaluated. in microbial biomass, basal respiration, the number of spores of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in the soil and root colonization by AMF. The amount of saline water added in different samples did not affect the evaluated parameters. Fertilization with goat manure increased soil C content and microbial respiration, but reduced palm root colonization by AMF.

Keywords: Soil salinity; Soil microbial biomass; Soil respiration; Arbuscular mycorrhizal fungi; Organic manure.

Resumen

En la región semiárida, el uso de agua salina para riego en la producción de forrajes para el ganado es una alternativa que puede contribuir a la seguridad alimentaria. El trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto del riego con agua salina y el uso de estiércol de cabra sobre la simbiosis micorrízica y el contenido de carbono del suelo en una zona semiárida cultivada con forrajes de cactus. Se evaluaron los efectos de las profundidades del agua (0, 370, 520 y 700 mm), asociados con cuatro dosis de estiércol de cabra (0, 15, 30 y 45 t ha⁻¹), sobre el carbono del suelo, contenido de

carbono. En biomasa microbiana, respiración basal, número de esporas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el suelo y colonización de raíces por HMA. La cantidad de agua salina agregada en diferentes muestras no afectó los parámetros evaluados. La fertilización con estiércol de cabra aumentó el contenido de C del suelo y la respiración microbiana, pero redujo la colonización de las raíces de palma por HMA.

Palabras clave: Salinidad del suelo; Biomasa microbiana del suelo; Respiración del suelo; Hongos micorrízicos arbusculares; Fertilización orgánica.

1. Introdução

O Semiárido brasileiro é caracterizado por clima tropical semiárido e abrange área de partes dos estados do nordeste brasileiro e de Minas Gerais, pouco mais de 10% do território nacional (Silva et al., 2010; Brasil, 2017). Apresenta altas médias anuais de insolação e temperatura, e baixas médias de umidade do ar e de pluviosidade, com variabilidade no tempo e no espaço. A insolação média na região é de 2800 h.ano⁻¹, com temperaturas variando em 23° a 27° C, evaporação de 2.000 mm.ano⁻¹. As médias anuais de precipitação na região são inferiores a 800 mm, sendo que no sertão as precipitações chegam a valores inferiores a 500 mm (Moura et al., 2007). Assim, por conta das limitações climáticas, principalmente pela evaporação superior à precipitação, e pela variação intra e interanual na quantidade e distribuição das chuvas (Moura et al., 2007), a região enfrenta limitação para os cultivos agrícolas e para a atividade pecuária. Isso é especialmente importante, pois essas são as principais atividades econômicas dessa região (Silva et al., 2010).

Nas áreas dependentes de chuva, a pecuária é a atividade dominante, devido à maior resiliência em relação à agricultura. O grande desafio da pecuária no Semiárido brasileiro, atividade rural baseada no pastejo em áreas de vegetação nativa e na complementação alimentar com forragens cultivadas, é garantir a alimentação aos rebanhos durante o ano todo, já que as chuvas são concentradas em poucos meses do ano e há grande variabilidade na precipitação ao longo dos anos, com períodos de seca recorrentes na região. Ações que podem contribuir para o desenvolvimento econômico da região e que incluam aspectos da segurança hídrica e alimentar devem ser prioritariamente desenvolvidas (Silva et al., 2010; Moura et al., 2020).

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) é uma alternativa importante para alimentação dos rebanhos em regiões semiáridas. Essa cactácea está adaptada a climas áridos, seu cultivo é fácil e ela apresenta alta produtividade de matéria seca (Araújo et al., 2021; Silva et al., 2014; Silva et al., 2020). Entretanto, na região Semiárida, mesmo para o cultivo de palma é necessário que se faça uma complementação hídrica, já que os índices pluviométricos nem sempre são suficientes para suprir a demanda da cultura. Geralmente, a água disponível para irrigação nas propriedades rurais apresenta baixa qualidade, devido ao elevado conteúdo de sais, mas representa uma alternativa para os produtores da região semiárida, para garantir segurança alimentar dos rebanhos, pois pode garantir a produção de espécies forrageiras e a sustentabilidade da atividade pecuária, em função da redução do super pastejo em áreas nativas, mesmo diante das alterações climáticas atuais (Araújo et al., 2021; Bezerra et al., 2010; Silva et al., 2020).

Entretanto, a irrigação com essa água pode levar à salinização do solo e à redução da produtividade das culturas, além de ter impactos sobre a economia, os ecossistemas e a qualidade dos recursos naturais (Cerqueira et al., 2021). Pode ainda afetar a comunidade microbiana do solo e o desenvolvimento dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), componentes importantes dessa comunidade, que são capazes de estabelecer simbiose mutualista com plantas e favorecer a absorção de água e nutrientes do solo (Yuan et al., 2007; Smith & Read, 2008). Os FMAs podem ser especialmente importantes em condições de estresse para as plantas, pois podem contribuir para mitigar os efeitos negativos de impactos como a salinidade (Latef et al., 2016; Lopez-Raez, 2016; Chang 2018).

Os efeitos da salinidade do solo também podem ser mitigados pela aplicação de adubos orgânicos (FAO, 2018). Dentre os fertilizantes orgânicos de origem animal, o esterco caprino é o que manifesta maior agilidade na fermentação, conseguindo êxito maior na agricultura, além de ser um material disponível pela atividade pecuária da região (Souza; Resende,

2006). O esterco tem grande contribuição na diminuição da porcentagem de sódio trocável no solo, em função da liberação de CO₂ e ácidos orgânicos no decorrer da decomposição da matéria orgânica, e também atua como fontes de cálcio e magnésio (Freire & Freire, 2007), resultando em melhorias nas propriedades do solo e no fornecimento de nutrientes às culturas (Hoffman et al., 2001), aumentando o número de esporos de FMAs no solo (Gavito et al., 2008) e o grau de colonização micorrízica das plantas (Souza et al., 2012).

A associação com os FMAs é uma estratégia que as plantas podem utilizar para crescer em condições de estresse abiótico, como o salino (Lopez-Raez, 2016). Em solos salinos, os FMAs podem diminuir os danos às plantas, devido à sua tolerância aos sais (Zhongqun et al., 2007). Plantas associadas aos FMAs apresentaram resistência ao estresse salino e ao estresse hídrico (He et al., 2007), isso se dá devido a vários processos, como o restabelecimento da absorção de água e nutrientes (Asghari et al., 2005), o controle iônico (Giri et al., 2007) e a preservação da atividade de enzimas (Rabie; Almadini, 2005). Contudo, a salinidade modifica a estrutura e funcionamento da simbiose micorrízica (He et al., 2007), em função da diminuição de colonização das raízes das plantas por alguns FMAs na presença de cloreto de sódio (Giri et al., 2007), o que possivelmente ocorre pelo impacto da salinidade sobre os FMA (Juniper & Abbott, 2006).

Nesse estudo buscou-se avaliar o efeito da irrigação com água salina e do uso de esterco caprino sobre a simbiose micorrízica arbuscular e sobre os teores de carbono do solo em área de semiárido cultivada com palma forrageira.

2. Metodologia

Esse estudo foi realizado em experimento de campo implantado no Campo Experimental da Caatinga, da Embrapa Semiárido, em Petrolina-PE.

Na área do experimento a precipitação pluviométrica apresenta média anual igual a 578 mm, e os valores médios anuais de temperaturas máximas e mínimas iguais a 33,46 e 20,87°C, respectivamente (Embrapa, 2017). O solo é classificado como Argissolo Amarelo Eutrófico Abrúptico Plíntico (Embrapa, 2013), com características físicas e químicas apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Caracterização física do Argissolo Amarelo Eutrófico da área experimental.

	Densidade Real (kg dm ⁻³)	Granulometria		
		Areia	Silte	Argila
		g kg ⁻¹		
Solo	1,47	834,0	104,9	61,1

Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

O experimento consistiu de 20 tratamentos combinando irrigação com água salina e adubação com esterco em área cultivada com palma forrageira. Avaliou-se os efeitos de quatro lâminas de água estabelecidas em função da evapotranspiração de referência (ET₀) (L1: 0%; L2: 12%; L3: 20%; L4: 28%, equivalentes a 0 mm, 370 mm, 520 mm e 700 mm, respectivamente) e de quatro níveis de matéria orgânica (esterco caprino nas doses: 0 t.ha⁻¹; 15 t.ha⁻¹; 30 t.ha⁻¹; 45 t.ha⁻¹) sobre a os teores de carbono do solo e a simbiose micorrízica. Os tratamentos foram dispostos em blocos ao acaso, com quatro repetições, em parcelas subdivididas, sendo a parcela principal composta pela lâmina de água e as subparcelas pelos níveis de matéria orgânica.

A água utilizada para irrigação do experimento foi classificada como C3\ss1, proveniente de dois poços tubulares, com vazão aproximada de 1500 L h⁻¹. (Tabela 2).

Tabela 2: Caracterização química do solo, do esterco e da água do experimento.

	C.E m.Sc ^{m-1}	pH	M.O. g.kg ⁻¹	P mg.dm ⁻³	K	Na	Ca	Mg cmolc.dm ⁻³	Al	H+Al	SB	CTC	V %
Solo	1,06	6,1	7,4	2,9	0,34	0,24	1,5	0,6	0,0	2,1	2,7	4,8	56,3
Água	C3S1	1,6	1,8	7,2	2,8	2,5	19,0	0,3	5,3	15,6	5,6	-	-
Esterco	2,20	8,1	96,7	-	-	5,5	5,9	0,0	3,0	11,4	14,4	14,4	78,9

Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

A área de palma forrageira (clone IPA-200016/Orelha de Elefante Mexicana) foi implantada no espaçamento de 1,6 m entre linhas e de 0,4 m entre plantas, totalizando 50 plantas por parcela (Figura 1).

Figura 1: Experimento de cultivo de palma forrageira sob irrigação salina e adubação orgânica com esterco caprino.



Fonte: Araújo, Silva e Campos (2021).

O plantio foi feito em abril de 2015. A irrigação teve início em maio de 2016 e a adubação orgânica foi realizada com esterco caprino curtido, aplicado em cobertura em agosto de 2015. Após o plantio, as plantas foram irrigadas com 700 mm de água de poço, com o objetivo de garantir o pegamento das mudas. Em março de 2016, 12 meses após o plantio, realizou-se um corte de homogeneização nas plantas e iniciou-se a aplicação dos tratamentos com lâminas de água.

As coletas de solo foram realizadas na camada 0-10 cm de profundidade, aos 28 meses após o início do experimento, em agosto de 2017. Os atributos do solo avaliados foram: teor de carbono (C total), carbono na biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB), número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em 50 gramas de solo e o grau de colonização radicular por FMAs.

O teor de C total nas amostras de solo foi determinado por combustão seca, em analisador elementar segundo a Norma ISO 10694.

O CBM foi extraído pelo método da fumigação-extração (CFE) e determinado conforme o método de Vance et al. (1987) com alterações. As amostras de solo foram incubadas por 24 horas em um dessecador com formol como agente fumigante. Paralelamente, amostras de solo foram incubadas de maneira similar e por igual período em frasco sem o agente

fumigante. O carbono do solo foi extraído com sulfato de potássio 1 mol L^{-1} e a determinação do teor de C nos extratos foi feita por reação com dicromato de potássio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e titulação com ácido clorídrico 33% (v/v). O carbono da biomassa microbiana foi calculado pela subtração do carbono da amostra não fumigada e das amostras fumigadas.

A respiração basal (RB) do solo foi avaliada pelo método titrimétrico (Vance et al., 1987). Durante sete dias, 100 g das amostras foram armazenados individualmente em frascos hermeticamente fechados junto com um frasco contendo 30 ml de hidróxido de sódio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. Em seguida, os frascos com hidróxido de sódio foram titulados com ácido clorídrico $0,25 \text{ mol L}^{-1}$. A RB foi calculada pela concentração de CO_2 .

A partir dos dados obtidos para carbono total do solo (C total), CBM e RB foram estimados o quociente metabólico do solo ($q\text{CO}_2$) através da relação: $q\text{CO}_2 = \text{C-BMS}/\text{C-CO}_2$; e o quociente microbiano ($q\text{Mic}$): $q\text{Mic} = \text{C-BMS}/\text{C-Total}$ (Aquino et al. 2005; De-Polli & Guerra, 1999).

A análise da colonização das raízes de palma por FMA foi feita ao microscópio pelo método de análise de segmentos, após terem sido clareadas com KOH e coradas com azul de tripano (Prates Junior et al., 2021).

A quantificação do número de esporos de FMA no solo foi realizada apenas nos tratamentos L1: 0%.ETo; L2: 20.ETo; e, L4: 28%.ETo, utilizando-se a metodologia do peneiramento úmido e centrifugação em solução de sacarose (Prates Junior et al., 2021).

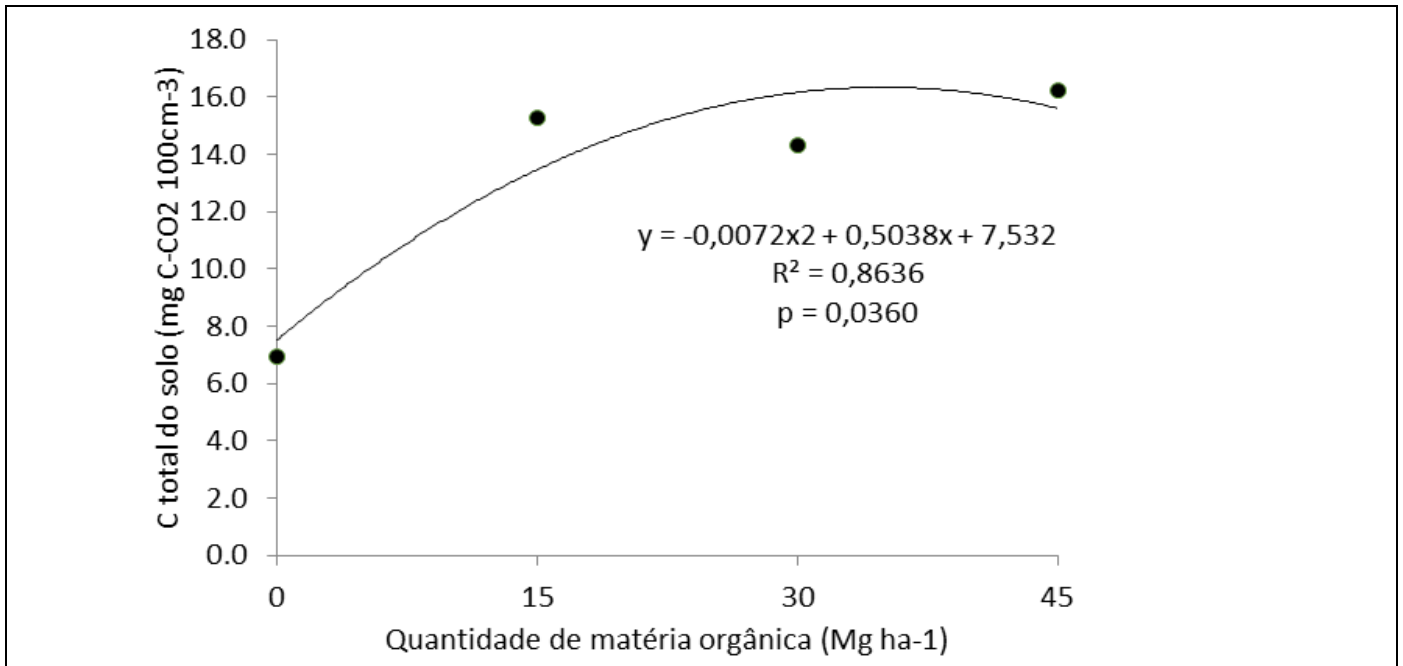
Os dados foram submetidos à análise de variância considerando os efeitos de lâmina de irrigação, dose de esterco e a interação entre eles. Em caso de significância estatística, procedeu-se a análise de regressão e ajuste de modelos matemáticos que melhor explicaram a variação dos dados. As análises estatísticas foram processadas no software SAS University.

3. Resultados e Discussão

A quantidade de água salina adicionada como irrigação não afetou os parâmetros relacionados ao carbono do solo e às micorrizas arbusculares. Por outro lado, os teores de esterco produziram efeito sobre o carbono total do solo, a respiração basal do solo e o grau de colonização micorrízica da palma.

O carbono total do solo foi afetado de forma quadrática pelo aumento do teor de matéria orgânica adicionado ao solo (Figura 2).

Figura 2: Carbono total do solo da área experimental cultivada com palma forrageira em diferentes doses de matéria orgânica



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

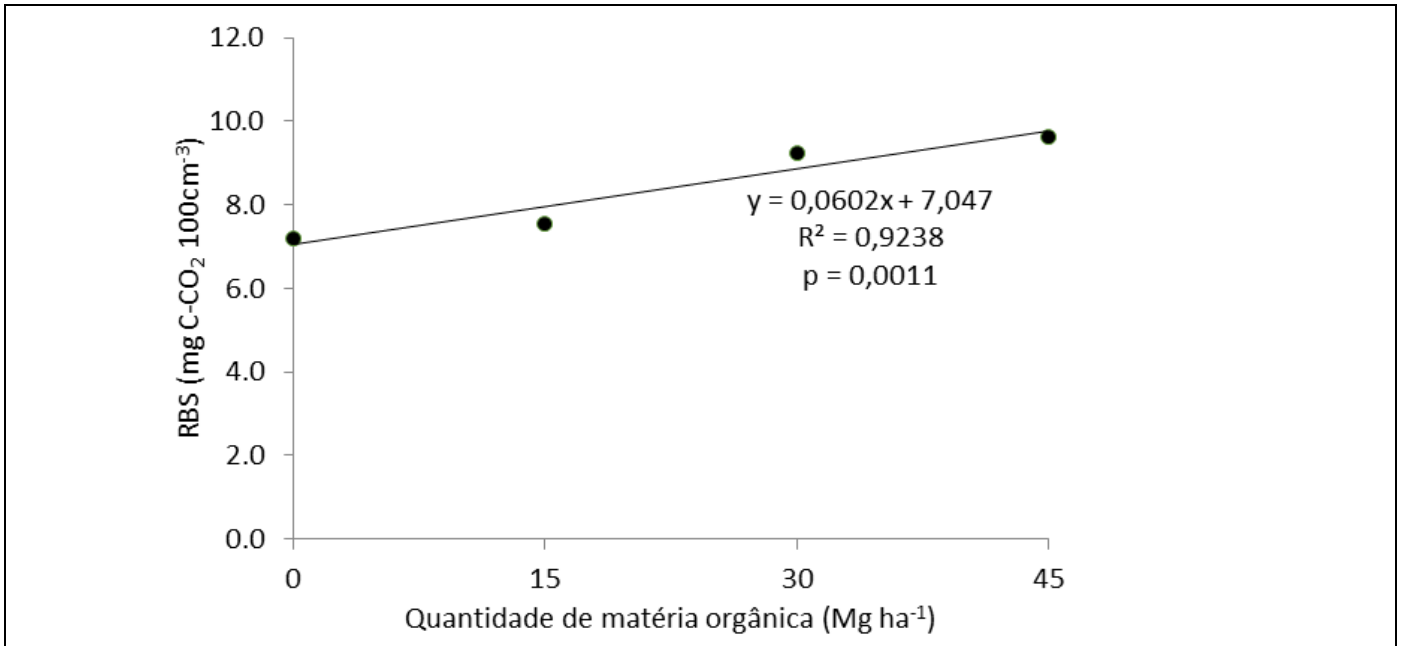
Os dados foram ajustados a uma equação que tem ponto de máximo para a dose 35 t ha⁻¹, sendo essa, portanto, a dose recomendada para maximizar o acúmulo de C no solo nas condições em que o experimento foi realizado.

Yan & Marschner (2013) observaram que a biomassa e a atividade microbiana do solo respondem rápido ao aumento da salinidade. Eles ainda concluíram que a diminuição do teor de sais possibilitou recuperação na atividade microbiana e que níveis elevados de salinidade por um período de tempo maior podem promover estabilização da microbiota do solo.

Apesar dos atributos biológicos do solo serem considerados importantes indicadores ambientais por responderem de forma rápida às alterações de manejo, a ausência de efeito da lâmina de irrigação sobre os atributos (CBM, qMic, qCO₂) avaliados pode ser reflexo de um efeito conjunto do pequeno tempo de implantação do sistema e da mitigação dos efeitos da salinidade promovidos pela adição de matéria orgânica ao solo, como reportado por Silva Júnior et al. (2009) e Liang et al. (2005).

A respiração basal do solo foi afetada apenas pelo teor de matéria orgânica adicionada ao solo (Figura 3). Foi feita análise de regressão para os dados e ajustou-se um modelo linear para a respiração basal, segundo o qual o aumento de uma unidade no teor de matéria orgânica (t ha⁻¹) proporciona um aumento de 0,0602 mg.100 cm⁻² na respiração basal.

Figura 3: Respiração basal nas amostras de solo da área experimental cultivada com palma forrageira em diferentes doses de matéria orgânica.



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

Silva Júnior et al. (2009), ao avaliarem o efeito de diferentes níveis de salinidade, perceberam que a adição da matéria orgânica aumentava C-CO₂ mineralizado, minimizando os efeitos negativos da salinidade. Liang et al. (2005), ao estudarem o cultivo de cevada irrigada com cloreto de potássio (salinização induzida), observaram que a adição de matéria orgânica minimizava os efeitos da salinidade, aumentando assim a atividade enzimática no solo. Entretanto, Pereira et al. (2004), ao avaliarem área cultivada com *Atriplex numularia* irrigada com água salina por três anos, também não observaram alteração da RB do solo. O aumento da salinidade da água de irrigação resultou em redução na respiração basal do solo, o carbono da biomassa e o coeficiente metabólico microbiano (Bezerra et al, 2010).

A aplicação de água salina pode ter efeitos sobre os atributos do solo, tais como a matéria orgânica e a comunidade microbiana do solo, os quais dependem da quantidade e da qualidade da água que está sendo usada na irrigação. A irrigação com água salina pode aumentar drasticamente o teor de sódio trocável e a saturação por sódio no solo, afetando a dinâmica da atividade microbiana e os reservatórios de C e N. Além disso, pode resultar na elevação do pH, deterioração das características físicas associadas à presença de argila livre (redução da estruturação e da porosidade), aumento da densidade do solo e, por fim, redução da produtividade do sistema. Contudo, existem algumas estratégias para diminuir os efeitos da salinização sobre o solo, como a adição de matéria orgânica e de gesso agrícola, que podem retardar o efeito da salinidade provocado pela irrigação e melhorar a retirada dos sais do perfil durante o período de chuvas nas regiões semiáridas (Cerqueira et al, 2021).

O efeito da salinidade sobre a atividade microbiana tem sido extensivamente estudado, embora os estudos se concentrem em níveis de salinidade constantes. Segundo Silva et al. (2008), a salinidade altera a biomassa microbiana do solo, mas a adição da matéria orgânica minimiza a intensidade do impacto. Liang et al. (2005) observaram que os níveis de matéria orgânica podem reduzir a ação da salinidade sobre a comunidade microbiana, o que também foi observado por Silva Júnior et al. (2009) que, ao analisarem os efeitos de níveis de salinidade sobre a atividade microbiana em Argissolo Amarelo incubado com diferentes adubos orgânicos, verificaram que estes aumentaram a quantidade de C-CO₂ mineralizado, mesmo em níveis elevados de salinidade.

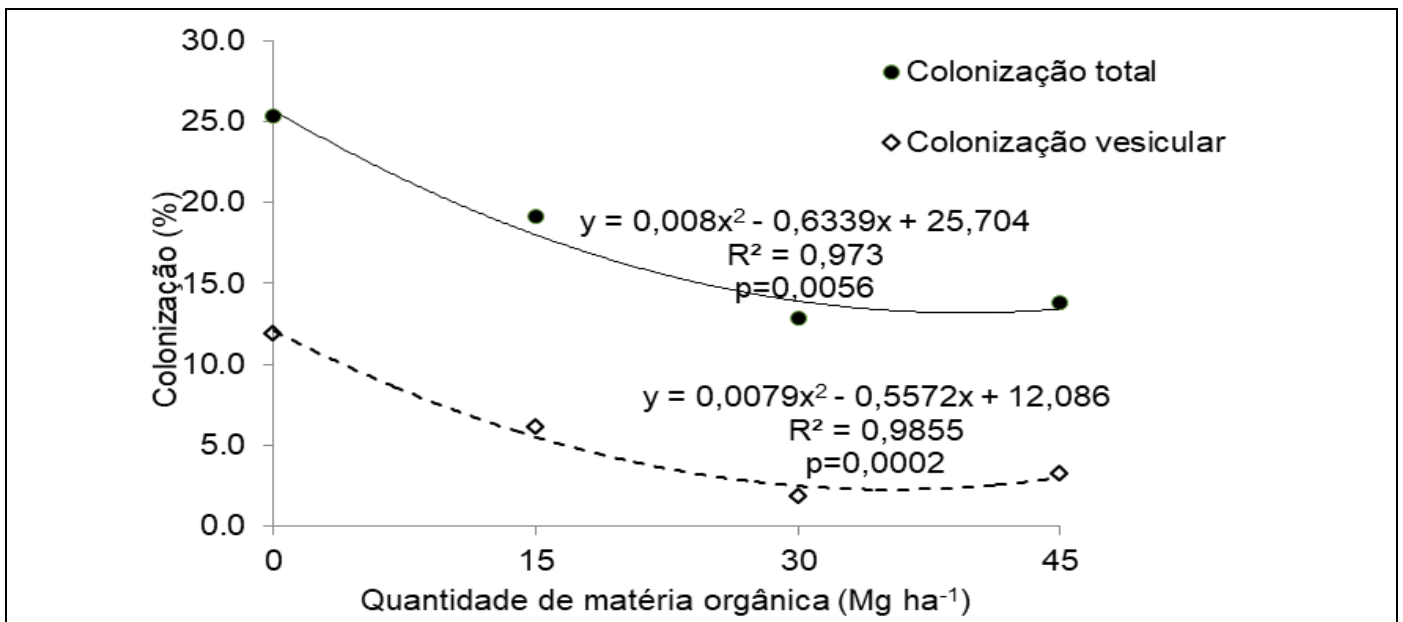
A atividade microbiológica do solo é influenciada diretamente pela produtividade e estabilidade de um ecossistema e

sua manutenção da fertilidade do solo é oriundo a um nível de atividade microbiana apropriado (Angiolini et al, 2013). Contudo, a atividade microbiana do solo não deve ser vista de forma independente, visto que é uma concentração de processos metabólicos (Iwai et al, 2012).

O efeito da salinidade sobre a atividade microbiana tem sido estudado, contudo considerando-se, na maioria dos casos, níveis de salinidade constantes, mas em todos eles os impactos negativos na microbiota foram registrados. No estudo de Silva et al, (2008) verificou-se que a salinidade pode alterar a comunidade da biomassa microbiana, entretanto a matéria orgânica e o sistema de cultivo contribuíram para aliviar o impacto produzido. Liang et al. (2005) os níveis de matéria orgânica contribuíram para reduzir a ação da salinidade na comunidade microbiana, minimizando assim o efeito da salinidade. Wichern et. al.; (2006) verificaram que com o efeito negativo nos microrganismos, conseqüentemente ocorre a restrição da respiração basal.

A colonização micorrízica foi afetada pelos diferentes níveis de adição de matéria orgânica no solo (esterco caprino), que proporcionaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos (Figura 4). Para essas variáveis a quantidade de água salina usada na irrigação não produziu diferenças.

Figura 4: Grau de colonização micorrízica total e vesicular em raízes de palma forrageira adubada com diferentes doses de matéria orgânica.



Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Verificou-se maior média para o tratamento controle, que apresentou em média 26,7% de colonização micorrízica total. Resultado semelhante também foi observado por Souza et al. (2003) em estudo feito em uma área de Caatinga nativa, ao avaliar a cactácea *Opuntia inamoena* K. Schum, que apresentou 20% de colonização por FMA.

Silva e colaboradores (2013), ao estudarem raízes de plantas de área experimental na região semiárida, verificaram cerca de 40% de colonização por FMA, sendo maiores que as verificadas no experimento com palma. Contudo, na comparação entre resultados dessa natureza, é preciso levar em consideração as variações edafoclimáticas existentes dentro do bioma Semiárido, bem como variações em decorrência de fatores das plantas (Smith & Read, 2008).

O aumento do nível de esterco diminuiu a presença de FMA nas raízes de forma polinomial. Os dados foram ajustados à equação que tem como ponto de mínimo na dose de 40 t ha⁻¹ (Figura 4). A presença de alguns nutrientes do solo,

como nitrogênio e fósforo fornecidos pelo esterco, podem ter contribuído para reduzir ao grau de colonização entre os FMA e as plantas (Oliveira et al, 2013).

O efeito da adição de esterco sobre a colonização vesicular foi semelhante ao verificado para a colonização por FMA. Considerando que elas são estruturas de reservas de nutrientes dos FMA, então se verifica que com o aumento da dose de esterco houve diminuição da colonização vesicular, com ponto de mínimo para a dose 36 t ha⁻¹ (Figura 4).

A redução na disponibilidade de nutrientes no solo contribui para a colonização e esporulação de FMA. Porém nesse estudo não houve efeito da adubação orgânica sobre o número de esporos, que variou de 15,6 a 10,4 esporos em 50 g de solo (Tabela 3).

Tabela 3: Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) no solo de área cultivada com palma forrageira em função do teor de matéria orgânica (esterco caprino) e das lâminas de água usadas na irrigação.

	Esporos de FMA (número de esporos/50 g de solo)	
Matéria orgânica (esterco caprino) (ton/ha)		
	0	15,6 a
	15	13,0 a
	30	13,4 a
	45	10,4 a
Lâminas de água (ETo)		
	0	15,3 A
	20	11,7 A
	28	12,3 A

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

O grau de colonização radicular por FMAs das plantas não foi afetado pelas lâminas de água. Porém, em estudos feitos por Jahromi et al. (2008), observou-se que a água salina produziu efeito negativo sobre a colonização por FMA. Entretanto, Juniper e Abbott (2006) mostraram que, mesmo em elevada concentração de NaCl a colonização por fungos micorrízicos não foi afetada.

O número de esporos variou de 15,3 a 11,7 em 50 g de solo, o equivalente a 0,3 a 0,2 esporos por grama de solo (Tabela 2), em condição de condutividade elétrica igual a 3,29 dS.m⁻¹. O número de esporos de FMAs na área cultivada com palma foi baixo, mas está dentro do que está reportado para áreas de caatinga (Souza et al, 2003). A mudança no uso do solo para atividade de cultivo pode ter efeito tanto de diminuir quanto de aumentar o número de esporos no solo (Lima et al, 2013). Estudo realizado em solos salinos do semiárido, com condutividade elétrica 0,08-0,45 dS.m⁻¹, o número de esporos variou entre 0,3 e 1,9 esporos/grama de solo; em solos com condutividade entre 1,03 e 6,38 o número de esporos/grama de solo variou entre 0,4 e 3,3 (Yano-Melo et al. 2003).

Os FMA podem contribuir para promover a resistência da planta hospedeira à salinidade usando mecanismos como a regulação da fisiologia e desenvolvimento da planta, o aumento da aquisição de nutrientes e absorção de água, a produção micélio externo que aumentam a capacidade de exploração do solo, o favorecimento da atividade enzimática para proteção das plantas hospedeiras contra danos oxidativos durante o estresse salino (Latef et al, 2016; Chang 2018). Assim, eles podem ser ferramentas biotecnológicas para favorecer o uso agrícola de solos salinos (Chang, 2018). Isso, quando se considera estudos em que plantas inoculadas com FMA nativos apresentaram maior qualidade produção de biomassa e os teores de proteína bruta

(Martínez-López et al, 2009), em que o aumento da salinidade da água de irrigação resultou no aumento do número total de esporos de FMAs (Bezerra et al, 2010), e com registro de aumento do número de esporos de FMA em áreas salinizadas do semiárido pernambucano (Yano-Melo et al. 2003). Contudo, nesse estudo de campo com palma, o número de esporos não foi afetado pela salinidade da água e pela adubação com esterco caprino nas quantidades aplicadas (Tabela 3).

4. Conclusão

A adubação da palma forrageira com esterco caprino aumentou o teor de carbono no solo e a respiração microbiana, mas reduziu a colonização micorrízica e a formação de vesículas nas raízes de palma forrageira.

O uso de água salina para irrigação da palma forrageira não produziu efeitos sobre o carbono do solo e a simbiose micorrízica arbuscular, após 28 meses da implantação do sistema.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Universidade de Pernambuco, à Embrapa Semiárido, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Brasil (Código de Financiamento 001).

Referências

- Angiolini, C., Landi, M., Pieroni, G., Frignani, F., Finoia, M. G. & Gaggi, C. (2013). Soil chemical features as key predictors of plant community occurrence in a Mediterranean coastal ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 119, 91-100.
- Aquino, A. M. D., Almeida, D. L. D., Guerra, J. G. M. & De-Polli, H. (2005). Biomassa microbiana, colóides orgânicos e nitrogênio inorgânico durante a vermicompostagem de diferentes substratos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40, 1087-1093.
- Araújo, G. G. L., Silva, T. G. F. & Campos, F. S. (2021). Agricultura bioessalina e uso de águas salobras na produção de forragem. In: Cerqueira P. R. S.; Lacerda, C. F.; Araújo, G. G. L.; Gheyi, H. J. & Simões, W. L. *Agricultura irrigada em ambientes salinos*. Brasília: Codevasf.
- Asghari, H. R., Marschner, P., Smith, S. E. & Smith, F. A. (2005). Growth response of *Atriplex nummularia* to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi at different salinity levels. *Plant and Soil*, 273(1), 245-256.
- Bezerra, M. E. D. J., Lacerda, C. F. D., Sousa, G. G. D., Gomes, V. F. F. & Mendes Filho, P. F. (2010). Biomassa, atividade microbiana e FMA em rotação cultural milho/feijão-de-corda utilizando-se águas salinas. *Revista Ciência Agronômica*, 41, 562-570.
- Brasil. (2017). Resolução nº 115, de 23 de novembro de 2017. Diário Oficial da União. Conselho deliberativo da superintendência do desenvolvimento do nordeste.
- Chang, W., Sui, X., Fan, X. X., Jia, T. T., & Song, F. Q. (2018). Arbuscular mycorrhizal symbiosis modulates antioxidant response and ion distribution in salt-stressed *Elaeagnus angustifolia* seedlings. *Frontiers in Microbiology*, 9, 652.
- Cerqueira P. R. S., Lacerda, C. F.; Araújo, G. G. L., Gheyi, H. J. & Simões, W. L. (2021). *Agricultura irrigada em ambientes salinos*. Brasília: Codevasf, 363 p.
- De-Polli, H. & Guerra, J. G. M. (1999). C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: Santos, G.A. & Camargo, F.A.O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Genesis, 389-411.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2013). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. (3a ed.), Brasília.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2017). Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/servicos/dadosmet/ceb-dia.html>>. Acesso em: 01/05/2018.
- Freire, M. B. G. S. & Freire, F. J. (2007). Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: Novais, R. F.; Alvarez V.; V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B. & Neves, J. C. L. (ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 2007. cap.16, p. 929-954.
- Gavito, M. E., Pérez-Castillo, D., González-Monterrubio, C. F., Vieyra-Hernández, T., & Martínez-Trujillo, M. (2008). High compatibility between arbuscular mycorrhizal fungal communities and seedlings of different land use types in a tropical dry ecosystem. *Mycorrhiza*, 19(1), 47-60.
- Giri, B., Kapoor, R. & Mukerji, K. G. (2007). Improved tolerance of *Acacia nilotica* to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. *Microb. Ecol.* 54, 753–760. doi:10.1007/s00248-007-9239-9
- He Z., He C., Zhang Z., Zou Z. & Wang H. (2007). Changes of antioxidative enzymes and cell membrane osmosis in tomato colonized by arbuscular mycorrhizae under NaCl stress. *Colloids Surf. B Biointerfaces* 59, 128–133. 10.1016/j.colsurfb.2007.04.023

- Hoffmann, I.; Gerling, D.; Kyogwom, U.B. & Manebielfeldt, A. (2001). Farmers management strategies to maintain soil fertility in a remote area in northwest Nigéria. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 86 (3) 263-275, <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016788090002887>>. doi:10.1016/S0167-8809(00)00288-7.25
- Iwai, C. B., Oo, A. N. & Topark-Ngarm, B. (2012). Soil property and microbial activity in natural salt affected soils in an alternating wet–dry tropical climate. *Geoderma*, 189, 144-152.
- Jahromi, F., Aroca, R., Porcel, R. & Ruiz-Lozano, J. M. (2008). Influence of salinity on the in vitro development of *Glomus intraradices* and on the in vivo physiological and molecular responses of mycorrhizal lettuce plants. *Microbial Ecol.*, 55: 45-53.
- Juniper, S. & Abbott, L. K. (2006). Soil salinity delays germination and limits growth of hyphae from propagules of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 16 (5), 371-379.
- Latef, A. A. H. A., Hashem, A., Rasool, S., Abd_Allah, E. F., Alqarawi, A. A., Egamberdieva, D. & Ahmad, P. (2016). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and abiotic stress in plants: a review. *Journal of Plant Biology*, 59(5), 407-426.
- Lopez-Raez, J. A. (2016). How drought and salinity affect arbuscular mycorrhizal symbiosis and strigolactone biosynthesis? *Planta* 243, 1375–1385. 10.1007/s00425-015-2435-9
- Liang, Y., Sib, J., Nikolicd, M.; Pengb, Y., Chenb, W. & Jiang, Y. (2005). Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization. *Soil Biology & Biochemistry*, 37 (6) 1185-1195.
- Lima, C. E. P., Santana, A., Mergulhão, A. & Lima, R. L. F. A. (2013). Micorriza Arbuscular: alternativa para uso na agricultura sustentável. In: Figueiredo, M. V. B., Silva, D. M. P., Tabosa, J. N., Brito, J. Z., França, J. G. E., Wanderley, M. B., Santos Filho, A. S., Gomes, E. W. F., Lopes, G. M. B., Oliveira, J. P., Santiago, A. D., Silva, F. G., Pacheco, M. I. N. & Silva, C. C. F. *Tecnologias potenciais para uma agricultura sustentável*. Recife: Ipa/Emater/Seagri-AL, pp. 113-132.
- Martínez-López, J. R., Vázquez-Alvarado, R. E., Gutiérrez, E., López-Cervantes, R., Olivares-Sáenz, E., Vidales-Contreras, J. A. & Valdez-Cepeda, R. D. (2009). Mycorrhiza effect on nutritional quality and biomass production of agave (*Agave americana* L.) and cactus pear (*Opuntia lindheimeri* Engelm.). *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 11, 69-77.
- Moura, M. R. F.; Santos, F. M.; Galvão, C. O.; Montenegro, S. M. G. L. & Silva, S. R. (2020). Segurança e vulnerabilidade hídrica: evoluções conceituais à luz da Gestão Integrada e Sustentável. *Ciência & Trópico*, 44 (1). [https://doi.org/10.33148/cetropicov44n1\(2020\)art6](https://doi.org/10.33148/cetropicov44n1(2020)art6)
- Oliveira, J. J. F. D., Sousa, R. F., Carneiro, R. F. V. & Fonseca, J. M. (2013). Crescimento inicial de plantas de leucena frente à inoculação micorrízica e adubação orgânica. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 8(3), 212-220.
- Pereira, S. V., Martinez C. R., Porto, E. R., Oliveira, B. R. B. & Maia, L. C. (2004). Atividade microbiana em solo do semi-árido sob cultivo de *Atriplex nummularia*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 08, p. 757-762.
- Prates Júnior, P.; Veloso, T. G. R.; Moreira, B. C.; Kasuya, M. C. M. (2021). Micorrizas arbusculares: conceitos, metodologias e aplicações. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Rabie, G. H. & Almadini, A. M. (2005). Role of bioinoculants in development of salt-tolerance of Vicia faba plants under salinity stress. *African Journal of biotechnology*, 4(2), 210-222.
- Silva, G. I. N., Jardim, A. M. R. F., Alves, H. K. M. N., Souza, M. S., Souza, C. A. A., Araújo Júnior, G. N., Alves, C. P., Pinheiro, A. G., Salvador, K. R. S., Leite, R. M. C., Costa, S. A. T., Silva, M. J. & Silva, T. G. F. (2020). Cultivation of forage plants of regional appeal to the Brazilian Semiarid from the perspective of agrometeorological techniques to improve resilience: a review. *Research, Society and Development*, 9(10), e1449108291. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8291>
- Silva, J. L. A., Medeiros, J. F., Alves, S. S. V., Oliveira, F. A., Silva Junior, M.J. & Nascimento, I. B. (2014). Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(Suppl.): 66-72. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsupps66-s72>
- Silva Júnior, J. M. T., Rodrigo C. Tavares, R. C., Mendes Filho, P. F. & Gomes, V. F. F. (2009). Efeitos de níveis de salinidade sobre a atividade microbiana de um Argissolo Amarelo incubado com diferentes adubos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 4, (4), 378-382.
- Silva, P. C. G., Moura, M. S. B., Kiill, L. H. P., Brito, L. T. L., Pereira, L. A., SA, I. B., Correia, R. C., Teixeira, A. H. C., Cunha, T. J. F. & Guimarães Filho, C. (2010). Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: Sá, I. B.; Silva, P. C. G. (Ed.). *Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Petrolina: Embrapa Semiárido, cap. 1, p. 18-48.
- Silva, M. D. O., Freire, M. B. D. S. Mendes, A. Freire, F. J., Sousa, C. E. & Góes, G. B. D. (2008). Crescimento de meloeiro e acúmulo de nutrientes na planta sob irrigação com águas salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12, 593-605.
- Smith, S. E. & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. 3 ed. Cambridge: Academic Press.
- Souza, J. L. & Resende, P. (2006). *Manual de horticultura orgânica*. Viçosa: UFV.
- Souza, R. G., Maia, L. C. Sales, M. F. & Trufem, S. F. B. (2003). Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. *Revista Brasil. Bot.* 26 (1) 49-60.
- Souza, C. S., Menezes, R. S. C., Sampaio, E. V. S. B., Oehl, F. Maia, L. C. , Garrido, M. S. & Lima, F. S. (2012). Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi after organic fertilization in maize, cowpea and cotton intercropping systems. *Acta Scientiarum Agronomy*, 34 (2), 149-156.
- Vance E. D., Brookes P. C. & Jenkinson, D. S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry*, 19, 703-707.

- Wichern, J., Wichern, F. & Joergensen, R. G. (2006). Impact of salinity on soil microbial communities and the decomposition of maize in acidic soils. *Geoderma*, 137 (1-2), 100-108.
- Yan, N. & Marschner, P. (2013). Response of soil respiration and microbial biomass to changing EC in saline soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 65, 322-328.
- Yano-Melo, A. M., Trufem, S. F. B. & Maia, L. C. (2003). Arbuscular mycorrhizal fungi in salinized and surrounded areas at the São Francisco Submedium Valley, Brazil. *Hoehnea*, 30, 79-87.
- Yuan, B. C., Li, Z. Z., Liu, H., Gao, M., & Zhang, Y. Y. (2007). Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. *Applied Soil Ecology*, 35(2), 319-328.