

## ANÁLISE DO CRESCIMENTO FISIOLÓGICO DO SORGO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA ASSOCIADO COM COBERTURA MORTA

Ailton Alves de Carvalho<sup>1</sup>, Abelardo Antônio de Assunção Montenegro<sup>2</sup>, Luandson José da Silva e Silva<sup>3</sup>, Rodrigo Soares Costa<sup>4</sup>, Giselle Cruz Almeida<sup>3</sup>

### RESUMO

O déficit hídrico associado à elevada taxa de evapotranspiração na região semiárida brasileira incentiva o uso de alternativas como o reuso de efluentes domésticos tratados para agricultura irrigada. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o desenvolvimento do sorgo forrageiro em área com e sem cobertura morta, irrigado com água residuária. O experimento foi conduzido no município de Pesqueira, Agreste de Pernambuco, Semiárido Brasileiro, em área agrícola da Estação Experimental de Tratamento e Reuso de Esgoto Doméstico do Distrito de Mutuca. Foram realizadas análises biométricas da cultura do sorgo em uma parcela com e outra sem cobertura morta, no período de maio a junho de 2019. Foram avaliados os parâmetros: número de folhas, altura da planta e massa verde, aos 20, 49 e 70 dias após o corte. A irrigação com água residuária associada com a cobertura morta, proporcionou efeito significativo para altura da planta, produtividade e taxa de crescimento absoluto. O uso de cobertura morta promoveu maior uniformidade do crescimento do sorgo forrageiro em área irrigada com água residuária tratada. Os mapas de krigagem na condição de parcela com aplicação de cobertura morta exibiram elevada correlação espacial, permitindo observar que, elevadas TCA (3,65 a 4,7 g dia<sup>-1</sup>) ocorrem em condições de salinidade do solo na faixa de 0,8 a 1,72 dS m<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** Reuso de água, semiárido, irrigação sustentável.

## ANALYSIS OF THE PHYSIOLOGICAL GROWTH OF SORGHUM IRRIGATED WITH RESIDUAL WATER TREATED ASSOCIATED WITH MULCH

<sup>1</sup> Dr. em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, CEP: 52.171-900, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil. E-mail: ailtonalvesst@hotmail.com

<sup>2</sup> Professor titular da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. E-mail: montenegro.ufrpe@gmail.com

<sup>3</sup> Doutorandos em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco. E-mail: silvasluan20@gmail.com; gihalmeida01@gmail.com

<sup>4</sup> Engenheiro Civil, Técnico de Laboratório: Hidráulica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, E-mail: rodrigo.sdcosta@gmail.com

## ABSTRACT

The water deficit associated to the high evapotranspiration rate in the Brazilian Semiarid Region encourages the adoption of alternatives such as the reuse of treated domestic effluents for irrigated agriculture. In this context, the objective was to evaluate the development of forage sorghum in areas with and without mulch, irrigated with wastewater. The experiment was carried out in the municipality of Pesqueira, Agreste de Pernambuco, Brazilian Semiarid, in an agricultural area of the Experimental Treatment and Reuse Station of Domestic Sewage in the District of Mutuca. Biometric analyzes of the sorghum culture were carried out in a plot with and without a mulch, from May to June 2019. The parameters were evaluated: number of leaves, plant height and green mass, at 20, 49 and 70 days after cutting. Irrigation with wastewater associated and with mulch provided a significant effect on plant height, productivity and absolute growth rate. The use of mulch provided greater uniformity during the growth of forage sorghum in an area irrigated with treated wastewater. The kriging maps in the condition of plot with application of mulch showed high spatial correlation, allowing to observe that, high TCA (3.65 to 4.7 g day<sup>-1</sup>) occurs in conditions of soil salinity in the range of 0.8 at 1.72 dS m<sup>-1</sup>.

**Key words:** Water reuse, lower quality water, sustainable irrigation.

## INTRODUÇÃO

O crescimento populacional acarreta elevada demanda hídrica para uso doméstico, industrial ou agrícola (SANTANA, 2015), e no semiárido brasileiro, além da limitada disponibilidade de recursos hídricos, predomina uma distribuição irregular das chuvas e faixas elevadas de temperaturas. Desta forma, o uso de alternativas hídricas, como o reuso de água é uma forma de minimizar tais problemas.

De acordo com Carvalho et al. (2020), a utilização de esgoto tratado na agricultura permite que a água de qualidade superior seja utilizada para usos mais nobres. Além do mais, de acordo com Guimarães et al. (2018), o reuso permite inúmeros benefícios, em destaque: substituição parcial dos fertilizantes químicos, elevação da carga orgânica presente no solo e redução da contaminação do meio ambiente, minimizando os impactos sociais e ambientais.

No semiárido brasileiro a produção de forragem é uma atividade importante na agricultura familiar (SANTANA, 2015). Desta forma, a reutilização de águas residuárias surge como uma alternativa para aumentar a segurança da produção, representando uma opção acessível e viável, sendo também, recomendada por diversos pesquisadores, no Brasil e no mundo (SANTOS, 2019).

A aplicação de cobertura morta é uma prática agrícola que proporciona uma série de benefícios para o desenvolvimento da cultura, dentre eles, regulação da temperatura e elevação da infiltração de água e da matéria orgânica no solo (MONTENEGRO et al., 2013; SOUSA et al., 2006), apresentando também, destaque em cultivos agrícolas irrigado com água residuária tratada (CARVALHO et al., 2020), principalmente em regiões onde as taxas de evapotranspiração são elevadas, ampliando a capacidade de produção das culturas.

A produção do sorgo vem tendo um elevado destaque na região semiárida, por ser uma cultura que se adapta às condições climáticas e que possui uma moderada tolerância a escassez hídrica e salinidade, possibilitando seu cultivo com água residuária (CARVALHO et al., 2020). Nesse contexto, este estudo objetivou analisar o desenvolvimento fisiológico do sorgo forrageiro irrigado com água residuária tratada, nas condições de cultivos com e sem cobertura morta.

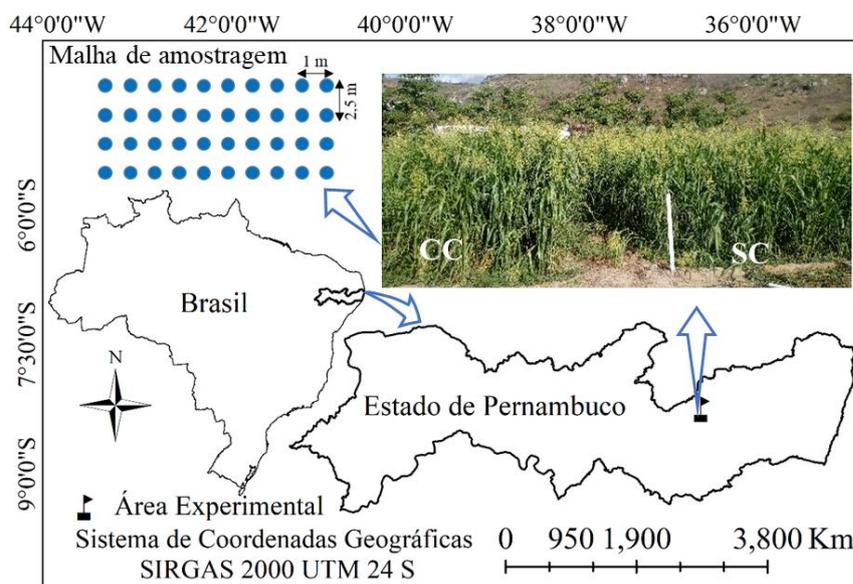
## MATERIAL E MÉTODOS

O cultivo foi conduzido na Estação Piloto de Reuso Hidroagrícola de Esgoto, localizada no Distrito Mutuca, Pesqueira-PE, na latitude

## ANÁLISE DO CRESCIMENTO FISIOLÓGICO DO SORGO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA ASSOCIADO COM COBERTURA MORTA

de  $-8.280765^\circ$ , e longitude de  $-36.571559^\circ$  e altitude de 791 m. Segundo a classificação de

Köppen, o clima é considerado quente e seco, e a precipitação média anual de 607 mm Figura 1.



**Figura 1.** Mapa da localização geográfica das áreas experimentais com cultivo de sorgo, em parcela com cobertura (CC) e sem cobertura (SC) e malha experimental da coleta de dados, Pernambuco, Brasil.

A análise física e química da área experimental é apresentada na Tabela 1, sendo

o solo classificado como Planossolo Háplico Sílico Sódico Hipereutrófico de textura areia.

**Tabela 1.** Características físicas e químicas do solo da área experimental, Pesqueira-PE.

Classificação textural	Ds	Cc	Pm	Granulometria			
	g/cm <sup>3</sup>	0,33 atm	15,0 atm	Areia	Silte	Argila	
	1,4	0,3	0,2	83,92	3,64	12,44	
Solo	pH	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na+	Saturação por base
Prof (cm)	ppm	-----cmolc/dm <sup>3</sup> -----					V%
0-20	8,1	295	0,9	>5	>5	0,64	90

Ds=densidade do solo; Cc=capacidade de campo; Pm=ponto de murcha. Fonte: Santos et al. (2017).

Os parâmetros da água residuária utilizada na irrigação estão descritos a seguir: pH 8,3; sólidos totais dissolvidos = 2869; Ferro Total < 0,01 em (mg L<sup>-1</sup>) respectivamente; Manganês Total = 0,05; Fósforo Total = 2; Nitrogênio Total = 23,6; Ca<sup>2+</sup> = 1,72; Mg<sup>2+</sup> = 4,19; Na<sup>2+</sup> = 34,02; K<sup>+</sup> = 2,19; Cl<sup>-</sup> = 26,79; SO<sub>4</sub><sup>-</sup> = 2,16; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 0,68; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> = 2; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 10,61, em mmol L<sup>-1</sup>, respectivamente. CE 3,41(dS m<sup>-1</sup>).

A cultivar utilizada no experimento foi a IPA SUDAN 4202, conhecida como Sorgo-do-Sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), variedade adaptada ao semiárido, apresentando uma elevada eficiência no uso da água e ciclo

vegetal precoce, onde os cortes variam de 45 a 70 dias.

Essa cultivar tem uma altura média de 2,3 m, possuindo uma elevada capacidade de rebrota quando é realizada a colheita e tolerante a uma salinidade de até 10 dS m<sup>-1</sup> (IPA, 1995).

A irrigação foi realizada via gotejamento, sistema Xique-Xique, cuja eficiência de aplicação da água foi de 90%, com turno de rega de 2 dias.

Para atender a demanda hídrica da cultivar, foram realizados cálculos de Evapotranspiração de Referência (ET<sub>o</sub>) pelo método de Penman-Monteith – FAO 56, coletando informações da estação

agrometeorológica Onset (Modelo – EAC-U30-900) localizada na área experimental.

Os coeficientes de cultivo (Kc) utilizados para determinar a ETc ( $ETc = ETo * Kc$ ) basearam-se na fase fenológica: Semeadura e estabelecimento (0,4); crescimento vegetativo (1,1); floração e formação da produção (1,00); e maturação (0,7), conforme descrito por Costa et al. (2017).

O experimento foi conduzido em duas parcelas experimentais, uma com e outra sem cobertura morta. As parcelas experimentais possuíam dimensões de 10 x 10 m e a malha de amostragem foi regular, sendo coletada uma amostra da planta e do solo em 40 pontos com espaçamento entre linhas de 1 m e entre plantas de 2,5 m.

A biometria foi realizada aos 20, 49 e 70 dias após o corte (DAC) avaliando o Número de Folhas (NF), Altura da Planta (AP) e Massa Verde (MV) das parcelas com e sem cobertura morta, em dois cortes. As variáveis foram avaliadas de acordo com análise de variância pelo teste F (1 e 5% de probabilidade).

A taxa de crescimento foi realizada conforme Benincasa (2003) e Magalhães (1985) determinando os parâmetros da biometria da cultura do sorgo, conforme as Equações 1 e 2:

$$TCR(g \cdot g^{-1} \cdot dia^{-1}) = \frac{(\ln MV_2 - \ln MV_1)}{(T_2 - T_1)} \quad (1)$$

Em que: taxa de crescimento relativo (TCR);  $\ln$  = logaritmo neperiano;  $MV_1$  e  $MV_2$ , massas de matéria verde no tempo inicial ( $T_1$ ) e final ( $T_2$ ) aos 20, 49 e 70 dias.

$$TCA(g \cdot dia^{-1}) = \frac{(MV_2 - MV_1)}{(T_2 - T_1)} \quad (2)$$

Em que: Taxa de crescimento absoluto (TCA);  $MV_1$  e  $MV_2$ , massas de matéria verde no tempo inicial ( $T_1$ ) e final ( $T_2$ ) aos 20, 49 e 70 dias.

A umidade do solo foi determinada utilizando uma sonda de nêutrons, modelo 503 DR HYDROPROBE®. A instalação dos tubos de acesso permitiu leituras a 0,2 m de profundidade. Coletou-se amostras de solo em

20 pontos para avaliação da umidade com base no método gravimétrico (EMBRAPA, 2011). Simultaneamente às coletas de solo, foram realizadas leituras com a sonda de nêutrons para a construção da equação de calibração após a obtenção da umidade a base de massa, conforme realizado por Souza et al. (2011), obtendo-se assim a equação calibrada para profundidade de 0,2 m (Equação 3):

$$U = 0,0086 + 0,361 * CN \quad (3)$$

Em que: U representa a umidade do solo ( $g \cdot g^{-1}$ ) e CN é a contagem relativa de nêutrons. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) encontrado para a calibração foi de 0,91 para a profundidade 0,2 m.

O coeficiente de variação (CV) foi classificado de acordo com o critério de Warrick e Nielsen (1980), o qual considera baixo ( $CV < 12\%$ ), médio ( $12 \leq CV \leq 60\%$ ) e alto ( $CV > 60\%$ ) o grau de variabilidade.

Para análise geoestatística, determinou-se o semivariograma experimental, calculado pela seguinte Equação 4 (YAMAMOTO; LANDIM, 2015):

$$Y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (4)$$

Em que:  $Y(h)$  a semivariância experimental para cada distância de separação  $h$ ,  $N(h)$  é o número de pares de observados para cada distância, e  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$  representam os valores pontuais separados pela distância  $h$ .

Após a obtenção das semivariâncias, foram testados os ajustes aos modelos gaussiano, esférico e exponencial, sendo escolhido aquele que melhor ajustou-se aos valores experimentais, em seguida determinando-se o Grau de Dependência (GD) espacial para cada variável estudada. O GD foi determinado pela proporção entre o efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C_1$ ) e o alcance da dependência espacial ( $A$ ), seguindo o critério de fraca dependência quando for inferior a 25%, moderada entre 25 a 75% e forte que é superior a 75% (ZIMBACK, 2001), Equação 5:

## ANÁLISE DO CRESCIMENTO FISIOLÓGICO DO SORGO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA ASSOCIADO COM COBERTURA MORTA

$$GD (\%) = \left( \frac{C_1}{(C_0 + C_1)} \right) * 100 \quad (5)$$

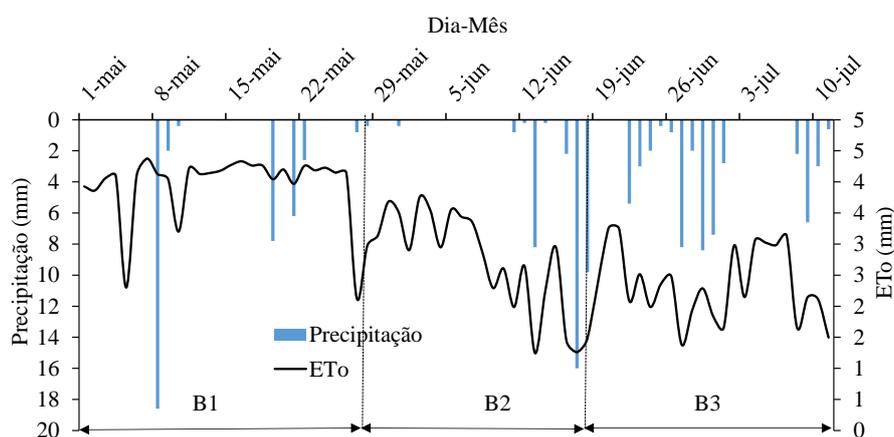
Os semivariogramas experimentais foram validados de acordo com o critério de Jack-Knifing (VAUCLIN et al., 1983), com média próximo de 0 e desvio-padrão próximo de 1. Após a validação dos semivariogramas, os parâmetros vegetais e do solo foram interpolados pelo método de Krigagem (MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2006).

Para as variáveis que não apresentaram dependência espacial, o mapeamento foi realizado utilizando o inverso da potência da distância (IPD), que estima a variável ao longo do espaço, ponderando pesos para cada um dos números pontos (DI PIAZZA et al., 2011), ou

seja, quanto mais próximo do ponto a ser estimado, maior será o peso atribuído ao ponto amostrado. No presente estudo foi adotada uma função do inverso de uma potência 2 da distância, ou seja, foi utilizado o Inverso Quadrado da Distância (IQD).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período das avaliações biométricas notou-se uma precipitação acumulada de 217,3 mm, representando 35% da precipitação média anual daquela região (Figura 2). A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), apresentou os maiores valores durante a primeira biometria.



**Figura 2.** Gráfico de precipitação e evapotranspiração de referência no período de 01 de maio de 2019 a 10 de julho de 2019.

Com base na análise de variância na Tabela 2, verifica-se efeito não significativo para os parâmetros com e sem cobertura morta sobre número de folhas, altura de plantas e massa verde nos dias 20 e 70 após o corte.

Já aos 49 DAC, verificou-se efeito significativo para AP, sendo as plantas na parcela com cobertura morta sendo superior 11,55% em relação as da parcela sem cobertura morta.

De acordo com a avaliação do crescimento vegetal, ocorreu semelhança entre os parâmetros biométricos com e sem a

implantação da cobertura. Esses resultados podem ser atribuídos à uniformização na distribuição da precipitação, ocorrida principalmente no período da primeira e terceira biometria, como destacado na Figura 2, bem como ao uso uniforme da água residuária na irrigação, nos dois tratamentos.

Elamin et al. (2019) e Araujo (2013), trabalhando com sorgo forrageiro, destacam que o uso de água residuária melhorou a produtividade da cultura de forma significativa, em comparação à área onde se aplicou água de abastecimento.

**Tabela 2.** Parâmetros biométricos da cultura do sorgo com e sem a implantação da cobertura morta.

	NF		AP		MV	
	20 DAC					
	SC	CC	SC	CC	SC	CC
Média	5,37 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>ns</sup>	57,3 <sup>ns</sup>	66,65 <sup>ns</sup>	9,82 <sup>ns</sup>	13,97 <sup>ns</sup>
CV(%)	0,58	0,5	10,89	9,2	3,51	3,95
DP	0,58	0,5	0,5	0,58	3,51	5,95
	49 DAC					
	SC	CC	SC	CC		
Média	3,85 <sup>ns</sup>	4,85 <sup>ns</sup>	145,72*	164,75*		
CV(%)	35,07	33,19	25,92	15,95		
DP	1,35	1,61	37,78	26,28		
	70 DAC					
	SC	CC	SC	CC	SC	CC
Média	6,40 <sup>ns</sup>	6,15 <sup>ns</sup>	2,28 <sup>ns</sup>	2,54 <sup>ns</sup>	76,18 <sup>ns</sup>	77,73 <sup>ns</sup>
CV(%)	16,62	23,46	11,73	8,88	23,73	33,32
DP	0,91	0,96	0,25	0,20	15,69	23,16

NF= número de folhas; AP= altura de planta; MV= Massa verde; SC= sem cobertura; CC= com cobertura. \*=significativo pelo teste F(p<0.05); ns= não significativo pelo teste F (p<0.05).

Constatou-se diferença significativa (1% de probabilidade) em TCR e produtividade do sorgo, sendo os maiores valores (3,441 e

80242,50 Kg/ha<sup>-1</sup>) em CC, comparado a SC (2,640 e 47386,25 Kg/ha<sup>-1</sup>), respectivamente (Tabela 3).

**Tabela 3.** Parâmetros da taxa de crescimento e produtividade da cultura do sorgo com e sem a implantação da cobertura morta.

	TCR		TCA		Produtividade Kg/ha <sup>-1</sup>	
	SC	CC	SC	CC	SC	CC
Média	0,024 <sup>ns</sup>	0,026 <sup>ns</sup>	2,640*	3,441*	47386,25*	80242,50*
CV(%)	19,453	17,553	20,935	11,675	0,64	0,37

TCR = taxa de crescimento relativo; TCA = taxa de crescimento absoluto.

A utilização de água residuária de efluentes domésticos tratados representa uma fonte de adubação alternativa em cultivos, resultando em uma prática de fertirrigação (BARROS et al., 2018).

Essa prática já vem sendo realizada, como destacado por Souza (2010), mostrando a eficiência desse recurso hídrico na irrigação, suprimindo a necessidade hídrica e nutricional da planta. Em relação à análise de tendência linear e quadrática, não foi constatada para as variáveis relacionadas aos índices de desenvolvimento do sorgo (TCA, TCR e MV) e do solo (CE e U) na presença e ausência da cobertura morta (Tabela 4).

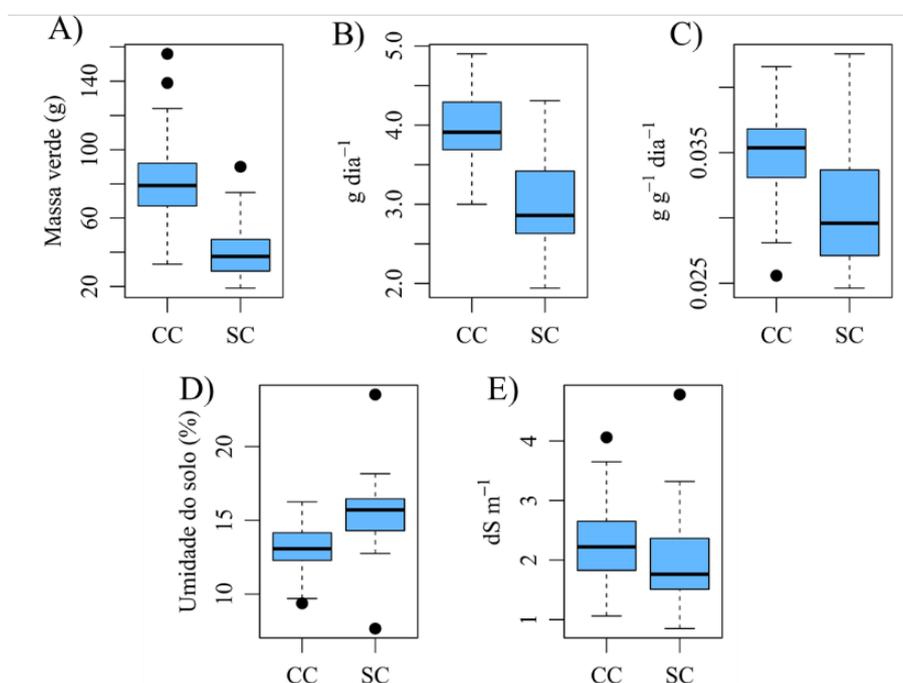
**Tabela 4.** Resultado da análise de tendência linear e quadrática para taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de crescimento absoluto (TCA), massa verde (MV), condutividade elétrica (CE) e umidade do solo (U) nas condições de cultivo sem cobertura (SC) e com cobertura (CC).

Variável	Linear	Quadrática
	Sem cobertura	
TCA	0,004141	0,058
TCR	0,022521	0,050
MV	0,014669	0,146
CE	0,084717	0,091
U 0,2m	0,272294	0,359
Com cobertura		
TCA	0,096673	0,099
TCR	0,035078	0,130
MV	0,055807	0,106
CE	0,248281	0,488
U 0,2m	0,236797	0,494

## ANÁLISE DO CRESCIMENTO FISIOLÓGICO DO SORGO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA ASSOCIADO COM COBERTURA MORTA

Os valores nas condições de uso do solo (CC e SC) apresentam variações semelhantes na distribuição dos valores dentro das caixas

dos Box-plots (Figura 3). No comportamento entre as variáveis da planta, as de CC sobressaíram as de SC (Figuras 3A, 3B e 3C).



**Figura 3.** MV - Massa verde (A), TCA - taxa de crescimento absoluta (B), TCR - taxa de crescimento relativo (C), U 0,2m - umidade do solo (D) e CE - salinidade do solo (E).

De acordo com os Box-plots, verifica-se que TCA (Figura 3B) não obteve outliers para os tratamentos CC e SC, e TCR em CC (Figura 3C), as demais variáveis apresentaram valores discrepantes. Além disso, constatou-se que a parcela CC promoveu medianas mais elevadas para as variáveis do sorgo, MV, TCA e TCR.

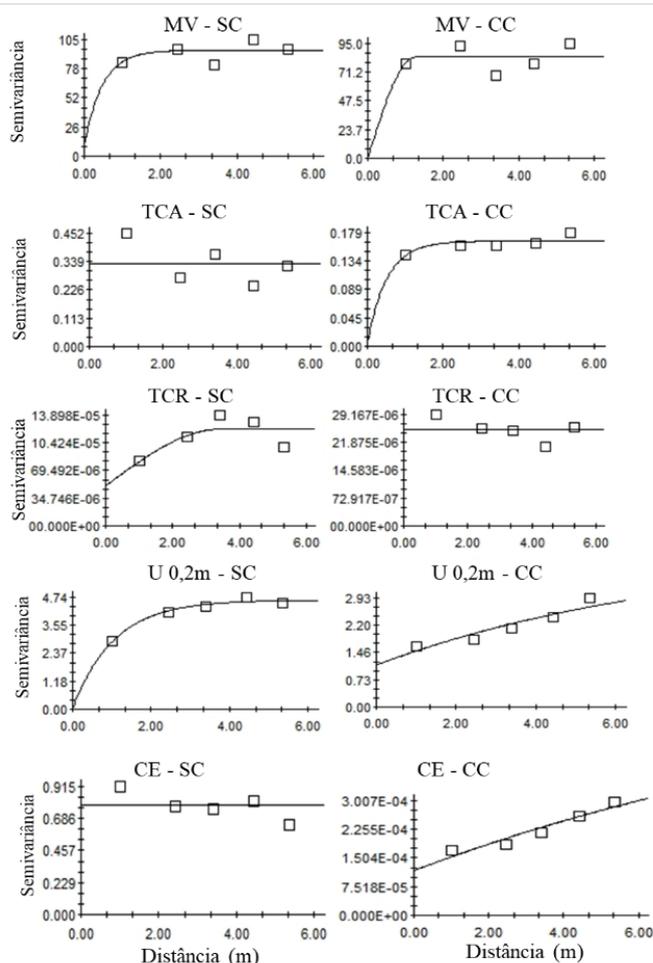
As variáveis MV, TCR e CE exibiram entre o primeiro e terceiro quartil, simetria em relação a mediana.

A umidade do solo foi mais elevada em SC (Figura 3D). Este efeito pode estar associado ao maior consumo hídrico pelo sorgo ocorrido nas parcelas CC, demonstrados em produção mais elevadas de MV (Figura 3A) e

nos índices TCA (Figura 3B) e TCR (Figura 3C). Além desse fator, a cobertura morta promove a interceptação da precipitação, como constatado por Lyra et al. (2010).

Araújo et al. (2019), observaram que o dossel da planta influencia na retenção de parte da precipitação.

Na Figura 4 são apresentados os semivariogramas com os ajustes para MV, TCR e U em SC, e para MV, TCA, U e CE em CC, permitindo assim, a interpolação mediante a krigagem. As variáveis TCA e CE em SC e TCR em CC apresentaram efeito pepita puro, não permitindo o mapeamento por krigagem, sendo o mesmo realizado pelo método do inverso do quadrado da distância.



**Figura 4.** Semivariogramas experimentais e teóricos para taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de crescimento absoluto (TCA), massa verde (MV), condutividade elétrica (CE) e umidade do solo (U) nas condições de cultivo sem cobertura (SC) e com cobertura (CC).

Um número mais elevado de variáveis (MV, TCA, U 0,2m e CE) possibilitaram ajustes dos semivariogramas na parcela com cobertura morta (CC). Desta forma, destacando-se a elevada capacidade de proteção do solo nesta condição, melhorando sua dependência espacial. Segundo Montenegro et al. (2013) e Borges et al. (2014), esta prática conservacionista é essencial para manutenção da umidade do solo e favorecimento do desenvolvimento vegetal, sendo fundamental o seu uso em regiões de clima semiárido, em cultivos agrícolas de sequeiro (CARVALHO et al., 2019) ou irrigado com água residuária (CARVALHO et al., 2020).

A Tabela 5 apresenta os parâmetros do semivariograma ajustado de acordo com os modelos (esférico e exponencial),

o grau de dependência espacial e a validação de acordo com o critério de Jack-Knifing, para os índices de crescimento (TCA, TCR e MV) e do solo (CE e U).

As variáveis TTC, TCA e CE apresentaram efeito pepita puro para o tratamento sem cobertura e TCR e MV para o tratamento com cobertura, os demais apresentaram dependência.

No tocante a U e CE, foi ajustado o modelo exponencial apresentado na Figura 4.

Todos os semivariogramas ajustados, foram validados pelos critérios de Jack-Knifing, com desvio padrão próximo de 1 e erro médio próximo de 0 (Tabela 5).

Os GD foram classificados de moderado a forte dependência espacial.

**ANÁLISE DO CRESCIMENTO FISIOLÓGICO DO SORGO IRRIGADO COM ÁGUA  
RESIDUÁRIA TRATADA ASSOCIADO COM COBERTURA MORTA**

**Tabela 5** Parâmetros de ajuste do semivariograma para índices de crescimento (TCA, TCR e MV) do sorgo forrageiro e do solo (CE e U).

Variável	Modelo ajustado	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>	A(m)	R <sup>2</sup>	GD (%)	Jack-Knifing	
							Média	DP
Sem cobertura								
TCA	EPP							
TCR	Esférico	0,00005	0,00012	3,44	0,568	41,66	0,001	0,871
MV	Exponencial	150	1125	0,6	0,233	13,33	0,011	0,262
CE	EPP							
U 0,2m	Exponencial	0,01	4,612	1,05	0,973	0,21	0,014	0,864
Com cobertura								
TCA	Exponencial	0,0056	0,1652	0,52	0,594	3,38	-0,013	0,972
TCR	EPP							
MV	EPP							
CE	Exponencial	0,00012	0,00066	14,43	0,992	18,18	0,007	0,827
U 0,2m	Exponencial	1,127	4,264	7,78	0,888	26,43	0,012	0,793

TCR = taxa de crescimento relativo; TCA = taxa de crescimento absoluto; MV = massa verde; CE = condutividade elétrica; U = umidade do solo; SC = sem cobertura; CC = com cobertura; GD = grau de dependência espacial.

A cobertura morta tem-se mostrado importante na elevação da dependência espacial em cultivo de sequeiro (CARVALHO et al., 2019) ou irrigado (CARVALHO et al., 2020). Além disso, exerce fator importante de conservação do solo, principalmente em regiões de baixa precipitação e elevada demanda evaporativa, como em regiões semiáridas. Lima et al. (2015) e Borges et al. (2014), relatam em suas pesquisas que a utilização da cobertura morta, diminui o escoamento superficial, eleva a infiltração de água no solo e promove permanência da umidade. Adicionalmente, Mendonça et al. (2019) observaram que o tratamento com cobertura morta proporcionou menor necessidade de irrigação.

O mapeamento de MV, TCR, TCA, US e CE em CC e SC mediante a krigagem e IQD, são exibidos na Figura 5.

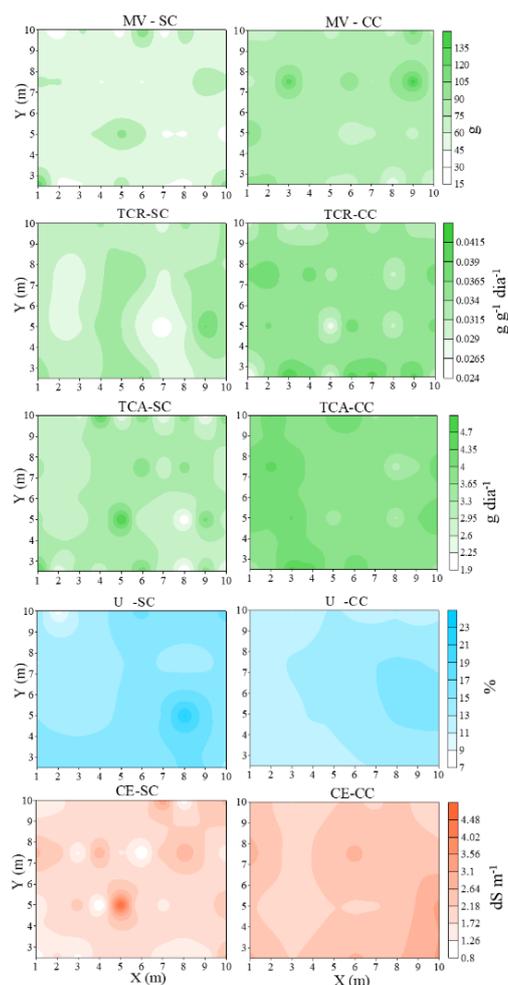
De acordo com os mapas de krigagem, observa-se que elevadas variabilidades podem

ser constatadas na massa verde (MV-SC e MV-CC), nos índices de desenvolvimento (TCR e TCA) em ambas condições de cultivo (SC e CC) e na salinidade do solo em CE-SC.

A krigagem demonstrou semelhança de U – CC com CE - CC, com os menores valores a oeste da parcela, refletindo em maior consumo de água pelas plantas nesta área, comprovados pelos maiores índices TCA, também na mesma faixa (Figura 5).

Desta forma, percebe-se que a cultura sofreu menor estresse na área por existir menor salinidade, conseqüentemente elevando a absorção de água.

De acordo com Dias et al. (2016), a retirada de água do solo pelas plantas só ocorre quando as forças de embebição das raízes são superiores às do solo, e quando em situações de elevada salinidade o potencial osmótico fica mais elevado no solo em relação aos das raízes, resultando em redução de absorção de água.



**Figura 5.** Mapas de isolinhas para taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de crescimento absoluta (TCA), massa verde (MV), condutividade elétrica (CE) e umidade do solo (U) nas condições de cultivo sem cobertura (SC) e com cobertura (CC).

Os mapas de krigagem na condição de parcela com aplicação de cobertura morta permitem verificar que elevadas TCA ( $3,65$  a  $4,7$   $\text{g dia}^{-1}$ ) ocorrem em condições de baixa salinidade do solo na faixa de  $0,8$  a  $1,72$   $\text{dS m}^{-1}$ . Este efeito pode ser constatado claramente nos mapas de isolinhas, observando sua correlação espacial a oeste da área de cultivo, em que a TCA-CC foi mais elevada, ocorrendo consumo mais elevado de água (U-CC) e onde predominava os menores valores de condutividade elétrica (CE-CC).

Segundo Montenegro e Montenegro (2006), a preservação da correlação espacial entre atributos da planta e do solo é essencial para entendimento da viabilidade da área de cultivo, e conseqüentemente adotar práticas de manejo que favoreçam a produtividade em cultivos agrícolas por longos períodos.

## CONCLUSÕES

O uso da cobertura morta promoveu elevação na altura das plantas, na taxa de crescimento absoluta e na produtividade do sorgo irrigado com água residuária.

A cobertura morta acarretou elevada correlação espacial, permitindo observar influência da salinidade elevada do solo na redução da taxa de crescimento absoluta do sorgo forrageiro.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, à Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de

**ANÁLISE DO CRESCIMENTO FISIOLÓGICO DO SORGO IRRIGADO COM ÁGUA  
RESIDUÁRIA TRATADA ASSOCIADO COM COBERTURA MORTA**

Pernambuco-FACEPE (IBPG-1758-5.03/15 e APQ 0300.5.03/17), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Instituto Agronômico de Pernambuco-IPA, por apoiar esta pesquisa.

**REFERÊNCIAS**

ARAÚJO, D. C. D. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, D. P. D.; RODRIGUES, R. A. Temporal stability of soil moisture in banana cropping area in the Brazilian semiarid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.11, p. 852-859, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n11p852-859>

ARAÚJO, F. N. Produtividade do sorgo forrageiro irrigado com água residuária oriunda de lagoas de estabilização. **Revista RBGA**, v.7, n.1, p.56-64, 2013.

BARROS, H.M.M.; GHEYI, H.R.; TRAVASSOS, K.D.; DIAS, N.S.; BARROS, M.K.L.; LEITE, M.S. Produção de girassol irrigado com água residuária sob adubação inorgânica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, n.3, p.2604-2612, 2018. <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n300722>

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.

BORGES, T. K. DE S.; MONTENEGRO, A.A. A.; SANTOS, T. E. M.; SILVA, D. D.; SILVA JUNIOR, E. V. P. Effect of conservation practices on soil moisture and maize (*Zea mays* L.) cropping in the semi-arid northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p. 1862–1873, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600021>

CARVALHO, A. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; ASSIS, F. M. V.; TABOSA, J. N.; CAVALCANTI, R. Q.; ALMEIDA, T. A. B.

Spatial dependence of attributes of rainfed maize under distinct soil cover conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.1, p.33-39, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n1p33-39>.

CARVALHO, A. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; TABOSA, J. N.; ALMEIDA, T. A.; SILVA, A. G. O.; SILVEIRA, A. V. M. Reuso hidroagrícola: uma solução para convivência com a escassez hídrica no Sertão e Agreste Pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.5, p.140–150, 2020. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.2.2020.2841.140-150>.

CARVALHO, D. F.; RIBEIRO, E. C.; GOMES, D. P. Marketable yield of onion under different irrigation depths, with and without mulch. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.2, p.107-112, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p107-112>

COSTA, J. P. N.; MEDEIROS, J. F.; NUNES, R. M. A.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; LIRA, J. F. B. Crescimento e produção da primeira rebrota de cultivares de sorgo sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, p.449–459, 2017.

DI PIAZZA, A.; CONTI, F.L.; NOTO, L.V.; VIOLA, F.; LA LOGGIA, G. Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.13, p.396 – 408, 2011.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUZA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. **Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2. Ed. Fortaleza: Ed. INCTSal, 2016, 504 p.

- ELAMIN, A.W.M.; SAEED, A.B.; RAHMA, A.E.; ELDAIAM, A.M.A.; MOHAMEDAI. Productivity of Maize (*Zea mays*) and Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Using Treated Wastewater for Irrigation. **Sudan Journal of Desertification Research**, v.11, n.1, p.58-70, 2019.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa Solos- Documentos (INFOTECA-E), 2011, p.230.
- GUIMARÃES, T. R. F. C. S.; COSTA J. P. N.; MEDEIROS, J. F. Uso de água de esgoto doméstico tratado na produção de sorgo soca. **Revista Water Resources and Irrigation Management**, v.7, n.1, p.01–07, 2018.
- IPA - Instituto Agrônomo de Pernambuco. **São José - BR 5026 (seleção IPA): Cultivar de milho desenvolvida para Pernambuco, selecionada contra ataque das lagartas do cartucho e da espiga**. 1.ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 7f, 1995.
- LIMA, C. A. DE; MONTENEGRO, A. A. DE A.; SANTOS, T. E. M. DOS; ANDRADE, E. M. DE; MONTEIRO, A. L. N. M. Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água. **Revista Ciência Agronômica**, v.46, p.697-706, 2015. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150056>
- LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; MOURA FILHO, G.; ARAÚJO JÚNIOR, R. F. Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e com cobertura morta na entrelinha na Região de Arapiraca-AL. **Irriga**, v.15, n.2, p.173-183, 2010. <https://doi.org/10.15809/irriga.2010v15n2p173>
- MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal**. 2. Ed. São Paulo: Editoras EPU; EDUSP, 1985. v.1, p.331-350.
- MENDONÇA, T.G.; BERÇA, A.S.; SOUZA, C.F. Uso da água em tomateiro cultivado com cobertura morta em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.13, n.1, p. 3236-3246, 2019. <https://doi.org/10.7127/rbai.v13n1001008>
- MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES. J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **CATENA**, v.109, p.139–149, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.03.018>
- MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.30-37, 2006.
- SANTANA, M. G. S. **Efeito do reuso de efluente de esgoto sobre os parâmetros de crescimento e nutrição do sorgo**. 2015. 62 f. Dissertação (Mestrado em Solos). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- SANTOS, C. S. **Reúso de água na cultura do milho em solos representativos da bacia do rio Ipojuca**. 2019. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- SANTOS, C. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, M. A.; PEDROSA, E. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da *Moringa oleifera* no semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.12, p.840–845, 2017. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n12p840-845>
- SOUSA, J. T.; HENRIQUE, I. N.; LEITE, V. D.; LOPES, W. S. Tratamento de águas residuárias: uma proposta para a sustentabilidade ambiental. **Revista de Biologia e Ciências da Terra** (Suplemento Especial), n.1, p.90-97, 2006.
- SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G.; MATOS, J. D. A.

ANÁLISE DO CRESCIMENTO FISIOLÓGICO DO SORGO IRRIGADO COM ÁGUA  
RESIDUÁRIA TRATADA ASSOCIADO COM COBERTURA MORTA

Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil. **Agricultural water management**, v.99, p.26-32, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.002>

SOUZA, R. M.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; SOARES, F. A. L. Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol. **Revista Caatinga**, v.23, n.2, p.125-133, 2010.

VAUCLIN, M.; VIEIRA, S. R.; VACHAUD, G.; NIELSEN, D. R. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.47, n.1, p.175-184, 1983.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In siti. In: Hillel, D. (ed.). Applications of Soil Physics. New York: Academic, 1980, p. 319-344.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. Oficina de textos. 2015, 215p.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia), Universidade Estadual Paulista, Botucatu.