

UNIFORMIDADE DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO EM FUNÇÃO DA ALTURA DO DOSSEL DA CANA-DE-AÇÚCAR

MANASSÉS MESQUITA DA SILVA¹; JOSÉ AMILTON SANTOS JÚNIOR¹;
MARCELO SCHULER DE MELO FILHO¹; ÊNIO FARIAS DE FRANÇA E SILVA¹ E
JOÃO BATISTA DOS SANTOS²

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PGEA. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900 - Recife/PE, Brasil. E-mail: manasses.mesquita@ufrpe.br; joseamilton@ufrpe.br; marcelo.schuler@hotmail.com; enio.fsilva@ufrpe.br;

²Universidade Federal de Campina Grande/Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar/Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias. Pombal, PB Brasil. E-mail: agrosantos@hotmail.com.

1 RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a uniformidade de aplicação e a distribuição do conteúdo de água em um solo cultivado com plantas soca da cana-de-açúcar aos 100 e 330 dias após o corte, irrigadas por aspersão convencional sob diferentes espaçamentos de aspersores. Para tal, no Município de Carpina-PE, em condições de campo, em uma área de 44 x 44 m, subdividida em duas áreas iguais com plantas de 0,70 e 2,80 m de altura do dossel, respectivamente, instalou-se, no centro da área, um aspersor a 1,7 m do solo e monitorou-se a lâmina precipitada e a umidade do solo em 144 pontos distribuídos em malha simétrica de 4 x 4 m. De posse dos resultados experimentais foram realizadas simulações de onze combinações de espaçamentos entre aspersores por meio de modelagem numérica e comparou-se os resultados mediante estatística descritiva. Na área sob cana com dossel de 2,8 m ocorreu maior armazenamento de água no solo em relação a cana com dossel de 0,7 m, e as simulações realizadas permitiram estabelecer uma correlação entre a lâmina necessária e o espaçamento entre aspersores, sendo recomendado espaçamento de 12x18 m para ambas alturas de plantas.

Palavras-chave: *Saccharum spp.*, irrigação pressurizada, eficiência de irrigação.

SILVA, M.M.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; MELO FILHO, M.S.; SILVA, E. F. F.;
SANTOS, J. B.

UNIFORMITY OF SPRINKLER IRRIGATION IN FUNCTION OF CANOPY
HEIGHT OF SUGARCANE

2 ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate the uniformity of application and distribution of the water content in a soil cultivated with soca plants of sugarcane, with 100 and 330 days after the cut, irrigated by conventional sprinkling under different spacings of sprinklers. For such, in the municipality of Carpina-PE, under field conditions, in an area of 44 x 44 m, subdivided into two equal areas with plants of 0.70 and 2.80 m canopy height, respectively; it was installed in the center of the area, a sprinkler at 1.7 m from the ground and the precipitated blade and the soil moisture were monitored in 144 points distributed in 4 x 4

m symmetrical mesh. With the experimental results, eleven combinations of sprinkler spacings were conducted using numerical modeling and the results were compared through descriptive statistics. It was verified that in the area cultivated with sugarcane presenting a canopy of 2.8 m, there was a greater water storage in the soil in relation to the sugarcane area with a canopy of 0.7 m, and the simulations performed allowed to establish a correlation between the necessary water blade and the spacing between sprinklers, and spacing of 12x18 m is recommended for both plant heights.

Keywords: *Saccharum spp.*, pressurized irrigation, irrigation efficiency.

3 INTRODUÇÃO

O advento da prática da irrigação permitiu a humanidade realizar a transição do modo nômade e extrativista de viver para sociedades fixas, inicialmente localizadas a margem dos grandes rios (CARVALHO et al., 2014), cujas cheias fertilizavam sazonalmente as suas margens pela deposição de material orgânico em suspensão, favorecendo a obtenção de expressivas colheitas. Entretanto, com o aumento demográfico e o proporcional incremento na demanda de alimentos nos sucessivos períodos da história, o surgimento de métodos rústicos de irrigação, como os diques e canais do Egito antigo, permitiram equacionar a sazonalidade das cheias e incrementar os índices de produção (RIBEIRO; CÂMARA, 2015).

Em que pese o desenvolvimento de modernos sistemas de irrigação no século XX, com a expansão das áreas irrigadas e o consequente aumento na demanda hídrica, a concepção dos sistemas utilizados passou a considerar não apenas a disponibilização de água às plantas, mas a uniformidade e eficiência de aplicação da água (ARAQUAM; CAMPECHE, 2012; MARTINS et al., 2011a). Neste sentido, Christiansen (1942) estudando a uniformidade de distribuição da água para aspersores, em função do efeito da pressão, do espaçamento, da rotação e da velocidade do vento sobre a distribuição da água, propôs um parâmetro indicador da uniformidade de aplicação de água, denominado coeficiente

de uniformidade de Christiansen (CUC). Outro parâmetro indicador, o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), foi preconizado pelo Soil Conservation Service (1968) cuja metodologia de cálculo considera a média dos 25% menores valores de precipitação em relação à média total.

Os parâmetros indicadores da uniformidade e da eficiência de aplicação expressam a qualidade da irrigação e são fundamentais no planejamento e na operação desses sistemas, de modo que para culturas de alto rendimento econômico, com sistema radicular raso, a irrigação por aspersão deve apresentar o CUD superior a 80% e o CUC acima de 88% (MERRIAN; KELLER, 1978).

Neste sentido, a utilização de modelos numéricos que permitem a simulação de diferentes cenários, viabilizam a realização de estimativas da eficiência da irrigação nas mais diversas situações de campo, dentre estas, os cultivos com diferentes alturas de dossel, e, consequentemente a antecipação de problemas futuros, otimizando a eficiência da irrigação no campo. Ressaltando a relevância desta demanda, Martins et al. (2011b), em estudos sobre o comportamento de sistemas de irrigação por aspersão convencional no Sul do Estado do Espírito Santo, verificaram baixa eficiência de uniformidade em 60% dos projetos avaliados.

No caso específico da cana-de-açúcar, cultura agrícola com maior área irrigada no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL

DE ÁGUAS, 2012), cujo manejo da colheita pode incidir na ocorrência de áreas com plantas dispostas de diferentes alturas de dossel, ainda são escassos estudos que tratem do manejo da irrigação (VIEIRA, et al., 2012; CAMPOS et al., 2014) e encerrem a questão da eficiência da distribuição de água na superfície e no perfil do solo e sua correlação com diferentes alturas de dossel e espaçamento entre aspersores. Em que pese a relevância dessa cultura para a economia do país, é utilizada no preparo de açúcar, etanol e bebidas alcoólicas, estudos que compreendam estas nuances na sua rotina de manejo da irrigação ainda precisam ser melhor estudados (MARIN et al., 2013).

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi, a partir da simulação do CUD e do CUC para onze espaçamentos entre aspersores, estimar a eficiência de distribuição de água na superfície e no perfil do solo em cultivo de cana-de-açúcar com duas alturas de dossel.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de campo, entre outubro e novembro de 2014, em canavial localizado na Estação experimental de cana-de-açúcar de Carpina (EECAC), Unidade de pesquisa avançada da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Carpina-PE, situado a 7° 51' 13" de latitude sul e 35° 14' 10" de longitude oeste e altitude média de 184 m.

A área experimental utilizada (1.936 m²) dispunha de 44 x 44 m e foi subdividida em duas subáreas de iguais dimensões, uma cultivada com cana-de-açúcar aos 100 e outra aos 330 dias após o corte (DAC), com altura de 0,70 e 2,80 m, respectivamente. Na linha divisória das áreas colocou-se uma linha lateral do sistema de irrigação, sobre a qual instalou-se um aspersor com tubo de subida de 1,70 m de altura em relação a superfície do solo e diâmetro nominal de 1 1/2".

A cultivar de cana-de-açúcar utilizada foi a RB 92579, a qual apresenta hábito de crescimento ereto e, na fase adulta, colmos com diâmetro médio de 30 mm e folhas largas (CAMPOS et al., 2014; HOLANDA et al., 2014).

Na perspectiva do sistema de irrigação convencional utilizado, utilizou-se um aspersor do modelo mini canhão plana KS 1500, com dois bocais cônicos de 12,0 e 5,0 mm, cujo mecanismo de rotação dá-se por impacto do braço oscilante, e apresenta diâmetro molhado de 24 m. O ajuste da pressão de serviço para a malha de coleta utilizada foi definido em ensaios prévios com auxílio de um manômetro "tipo Bourdon" com adaptação "pitot", de modo que sob uma pressão de serviço de 20,0 mca, o aspersor utilizado aplicou uma vazão média de 9,87 m³h⁻¹. Os eventos de irrigação tiveram duração de uma hora, e foram realizados entre seis e sete horas, totalizando quatro eventos de irrigação utilizados no experimento.

As condições ambientais foram monitoradas durante os ensaios visando avaliar eventuais influências climáticas sobre as análises experimentais. Para tal, monitorou-se a velocidade do vento a cada quinze minutos com auxílio de um termoanemômetro portátil instalado a 2 m de altura da superfície do solo e a 2 metros de distância da borda da área, de modo que, durante as análises experimentais, a velocidade média do vento foi de 0,25 m s⁻¹ e temperatura média foi de 29,4 °C. Verificou-se que a perda de água por evaporação foi mínima, provavelmente devido ao horário de realização dos ensaios.

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso (EMBRAPA, 1997) e, de modo prévio ao início das atividades experimentais, coletou-se amostras indeformadas, conforme metodologia de Santos et al. (2005), na camada de 0-20 cm, visando a caracterização do solo quanto aos seus parâmetros físicos (Tabela 1), realizada

conforme metodologia da Embrapa (1997).

Tabela 1. Características físicas do solo da área experimental. Carpina-PE, 2014.

Camada de solo	Altura da cana	Ds	Textura			Umidade	
			Areia	Silte	Argila	CC	PMP
(m)	(m)	g cm ⁻³	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³
0,0 - 0,2	0,70	1,60	761,16	73,26	165,58	0,10	0,05
0,0 - 0,2	2,80	1,48	727,28	84,66	188,06	0,12	0,06

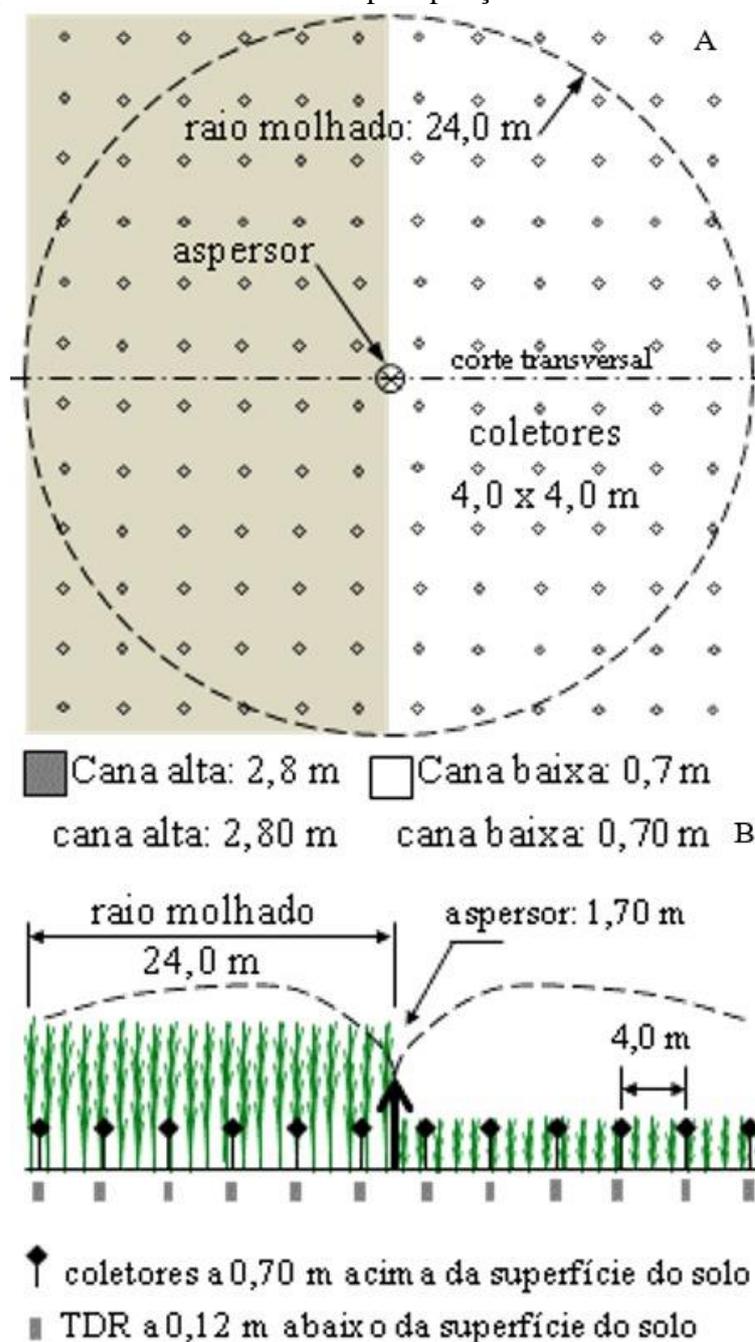
Ds - densidade do solo; CC - Capacidade de Campo; PMP - Ponto de Murcha permanente.

Quanto as variáveis analisadas, monitorou-se a lâmina precipitada com auxílio de 144 coletores distribuídos de modo simétrico em malha de 4 x 4 m em toda a área, instalados a 0,7 m de altura em relação a superfície do solo e que dispunham de seção de captação de água de 0,00785 m². Ao final de cada ensaio, o volume coletado foi mensurado e catalogado.

Monitorou-se também a umidade de solo na camada de 0 a 0,12 m, com TDR (Time Domain Reflectometer) e, para tal,

nos 144 pontos situados sob os coletores, mediu-se a umidade do solo às 0, 4 e 8 horas em relação ao início do evento de irrigação. A calibração da TDR foi realizada, e obteve-se ajuste de $R^2=0,8699$ e a equação: $\theta_{SOLO}=1,5279.\theta_{TDR} + 3,1133$, em que θ_{SOLO} é a umidade do solo em % volume e θ_{TDR} é a umidade obtida pela sonda em % volume. A esquematização dos pontos de coleta da precipitação e da umidade do solo encontra-se detalhado na Figura 1.

Figura 1. (A) Vista superior da malha de pontos utilizados para coleta da lâmina precipitada e da umidade do solo (B) vista em corte transversal das áreas de cana alta e cana baixa e dos pontos de monitoramento da precipitação e umidade do solo.



De posse dos dados coletados, foram realizadas simulações para onze espaçamentos entre aspersores (12x12 m; 12x18 m; 18x18 m; 18x24 m; 24x24 m; 24x30 m; 30x30 m; 30x36 m; 36x36 m; 36x42 m; 42x42 m) através de modelagem

numérica com auxílio de softwares e, para estes cenários, determinou-se os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) para a lâmina precipitada e para a umidade do solo na camada de 0 a 0,12 m e os resultados foram

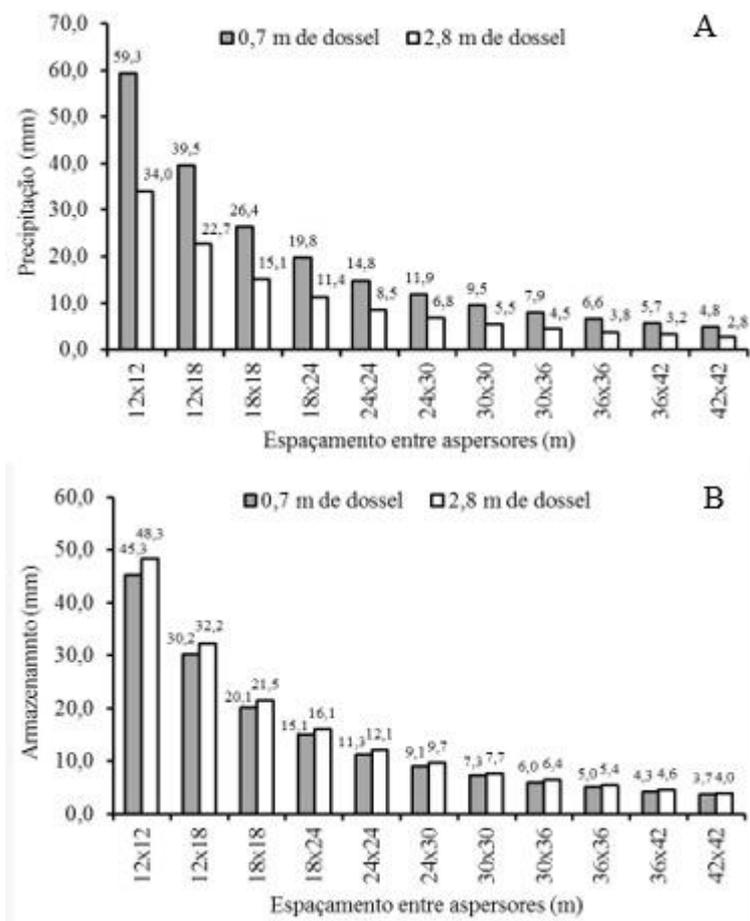
submetidos a estatística descritiva e classificados conforme Bernardo, Soares e Mantovani (2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento da precipitação coletada nos cenários sob cana com dossel de 0,7 e/ou 2,8 m, apresentou tendência decrescente com o aumento do espaçamento, ressaltando-se, no entanto, que independente do espaçamento entre aspersores, a

precipitação coletada sob dossel de 0,7 m foi, em média, 42,66% superior em relação à lâmina coletada em cana com dossel 2,8 m (Figura 2A). Vale ressaltar que a cota adotada para os coletores foi igual à altura da cana com dossel de 0,7 m, e que assim, a precipitação incidiu diretamente sobre os mesmos. Em outra perspectiva, na cana com dossel de 2,8 m, cuja altura estava um metro acima da cota dos coletores, ficou evidente o efeito da interceptação das folhas sobre a precipitação coletada, independente do espaçamento entre aspersores adotado.

Figura 2. Médias de lâmina (A) precipitada e (B) armazenada. Resultados para onze simulações de espaçamentos entre aspersores em função da altura do dossel da cana-de-açúcar. Carpina-PE, 2014.



Em oposição ao verificado na precipitação coletada, notou-se que a lâmina armazenada no intervalo 0-0,12 m do perfil do solo (Figura 2B), foi maior na área sob

cana com dossel de 2,8 m de altura, em todos os espaçamentos de aspersores simulados. Ou seja, especialmente na cana com dossel de 2,8 m, a lâmina armazenada foi sempre

superior a lâmina da precipitação coletada, provavelmente devido a redistribuição da água no perfil do solo; inclusive, Zocoler et al. (2013), estudando a variação entre a lâmina de irrigação aplicada e armazenada, sugerem que a uniformidade da lâmina armazenada não depende da uniformidade da lâmina coletada, situação que pode ser atribuída a redistribuição da água no perfil do solo.

Não obstante, em termos médios, sob espaçamentos de 12x12 m, a lâmina armazenada sob cana com dossel de 2,8 m foi 4,82% maior em relação à cana sob dossel de 0,7 m e, sob mesmo comparativo, considerando-se o espaçamento 42x42 m, os valores chegaram a 6,38%. Neste caso, a massa de folhas que interceptou a precipitação, favoreceu a condução da água pelo caule até o solo, otimizando o armazenamento e oportunizando, obviamente, maiores índices de conservação da água e do solo.

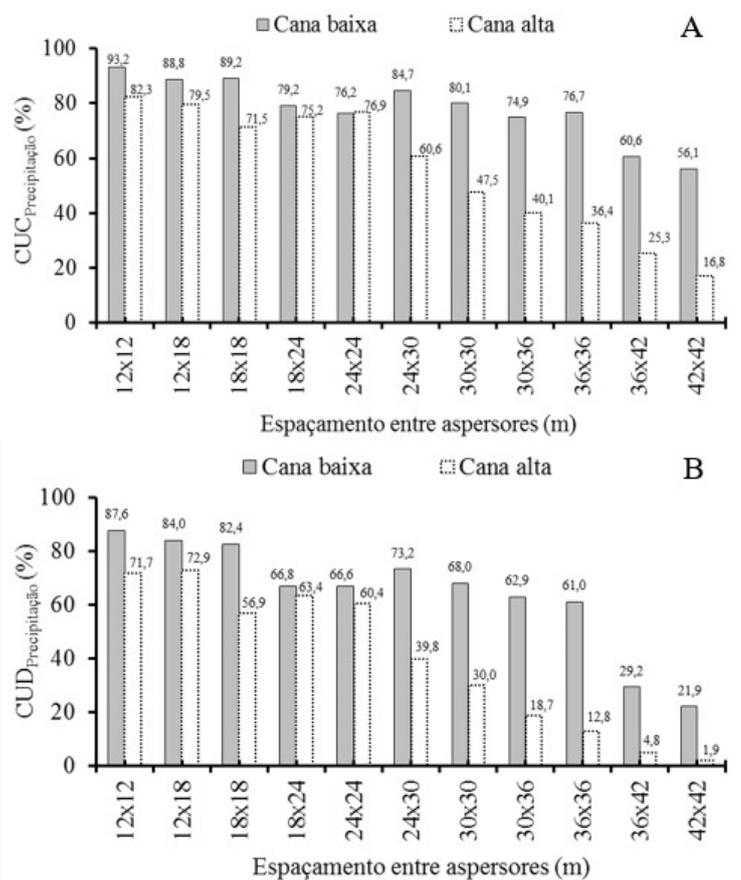
Vale enfatizar, no entanto, os resultados sob a perspectiva específica dos diferentes espaçamentos simulados, no sentido da acentuada redução da lâmina precipitada e armazenada com o aumento do espaçamento. Neste caso, embora o aumento do espaçamento entre aspersores indique uma redução do custo do milímetro aplicado, é necessário que, em trabalhos futuros, seja realizada uma correlação entre a lâmina necessária e/ou econômica e o respectivo espaçamento adequado e, posteriormente, uma avaliação final do custo do milímetro aplicado em função do aumento da produção

obtida em decorrência do uso do sistema de irrigação.

Quanto à qualidade da uniformidade da precipitação coletada ou da lâmina armazenada nos cenários propostos, via de regra, todas as classificações, nas duas metodologias de cálculo utilizadas, foram realizadas conforme Bernardo, Soares e Mantovani (2011).

Em análise da precipitação coletada na cana com 0,7 m de dossel, verificou-se para os onze espaçamentos entre aspersores simulados, uma redução de até 39,8% no coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e de até 75% no coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) quando se compara os números dos aspersores espaçados em 12x12 m em relação aos espaçados em 42x42 m. O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) foi classificado como excelente sob espaçamento 12x12 m, como bom sob espaçamento 12x18 e 18x18 m, como razoável sob espaçamento de 18x24 e 24x24 m e, nos demais espaçamentos simulados, os resultados foram insuficientes (Figura 3A). Em relação ao coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), sob espaçamento de 12x18 e 18x18 m os resultados foram excelentes; sob os espaçamentos 18x18 e 24x30 m foram classificados como bom; quando se simulou os espaçamentos 18x24, 24x24, 30x30, 30x36 e 36x36 m classificou-se como razoável e os demais espaçamentos produziram uniformidade classificada como insuficientes (Figura 3B).

Figura 3. (A) Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e (B) Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para lâmina precipitada em onze simulações de espaçamentos em função da altura de corte da cana-de-açúcar. Carpina-PE, 2014.



Analisando ainda a precipitação coletada, agora em cana com dossel de 2,8 m, verificou-se redução de 79,58% e 97,35% na uniformidade de aplicação CUC e CUD, respectivamente, com o aumento do espaçamento entre aspersores. Em relação ao CUC (Figura 3A), sob espaçamento 12x12m, verificou-se uniformidade classificada como boa; os espaçamentos 12x18, 18x18, 18x24 e 24x24 m proporcionaram uniformidade razoável; o espaçamento 24x30 m resultou em uniformidade ruim e os demais espaçamentos proporcionaram uniformidade indesejável. Quanto ao CUD (Figura 3B), os espaçamentos 12x12 e 12x18 m proporcionaram boa uniformidade, os espaçamentos 18x18, 18x24 e 24x24 m resultaram em uniformidade razoável, no espaçamento 24x30 m a uniformidade foi

classificada como ruim e nos demais espaçamentos a uniformidade foi indesejável. Para Cunha et al. (2008) baixos índices de uniformidade como os verificados nos maiores espaçamentos, podem causar crescimento irregular das plantas, bem como ocasionar outros problemas relacionados a degradação do solo.

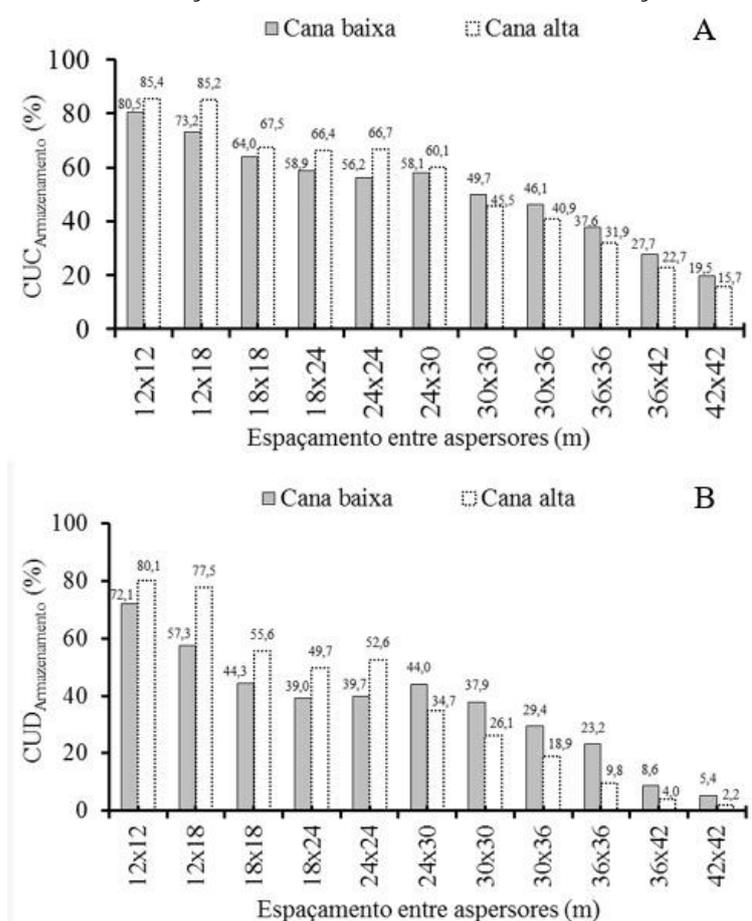
Em avaliação geral dos resultados, comparando-se o valor percentual da uniformidade de precipitação entre a cana com dossel de 0,7 e 2,8 m, verificou-se para o CUC, diferenças na ordem de 10,9; 9,3; 9,7; 4,0; -0,7; 24,1; 32,6; 34,8; 40,3; 35,3 e 39,3% para, respectivamente, os espaçamentos 12x12; 12x18; 18x18; 18x24; 24x24; 24x30; 30x30; 30x36; 36x36; 36x42 e 42x42 m. Em relação ao CUD, as diferenças foram na ordem de 15,9; 11,1; 25,5; 3,4; 6,2; 33,4; 38,0; 44,2; 48,2; 24,4 e

20% em relação aos supramencionados espaçamentos, respectivamente. Os resultados de CUC e CUD verificados no presente trabalho foram coerentes com as tendências verificadas em pesquisa realizada por Drumond et al. (2006) em que o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) foi sempre maior que o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD).

Em relação à lâmina armazenada no solo, na cana com 0,7 m de dossel, quanto ao CUC (Figura 4A), verificou-se uma boa uniformidade para o espaçamento 12x12 m,

razoável para o espaçamento 12x18 m, ruim para o espaçamento 18x18 m e indesejável para os demais espaçamentos simulados, de modo que a redução no CUC com o aumento dos espaçamentos de 12x12 para 42x42 m foi de 81,61%. Em relação ao CUD (Figura 4B), essa variação foi de 92,51% e a classificação (Bernardo; Soares; Mantovani, 2011) foi boa para o espaçamento 12x12 m, razoável para o espaçamento 12x18 m, ruim para os espaçamentos 18x18, 18x24, 24x24, 24x30 e 30x30 m, e os demais espaçamentos apresentaram uniformidade indesejável.

Figura 4. (A) Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e (B) Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para o armazenamento em onze simulações de espaçamentos em função da altura de corte da cana-de-açúcar. Carpina-PE, 2014.



Em relação à cana com dossel de 2,8 m e a uniformidade da lâmina armazenada, especificamente em relação ao CUC (Figura 4A), a uniformidade foi classificada como boa nos espaçamentos 12x12 e 12x18 m,

ruim nos espaçamentos 18x18, 18x24, 24x24 e 24x30 m e, nos demais espaçamentos, indesejável, tendo sido verificado uma perda na uniformidade quando comparou-se os resultados

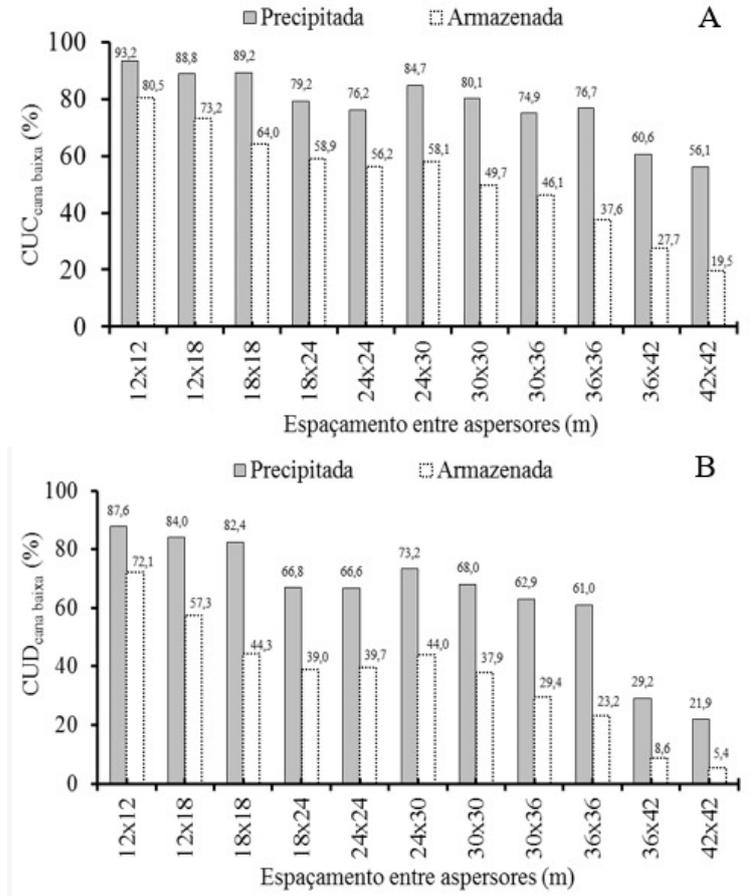
verificados nos espaçamentos 12x12 e 42x42 m de até 81,63%. Quanto à lâmina armazenada e seu CUD (Figura 4B), ainda para a cana com dossel de 2,8 m, verificou-se boa uniformidade sob os espaçamentos 12x12 e 12x18 m, razoável e ruim sob os espaçamentos 18x18 e 18x24 m, respectivamente, e sob os demais espaçamentos a uniformidade foi indesejável.

Comparando-se os resultados de uniformidade de armazenamento entre cana com dossel de 0,7 e 2,8 m, tendo como referência o CUC, verificou-se diferença entre os percentuais de uniformidade verificados nos espaçamentos 12x12; 12x18; 18x18; 18x24; 24x24; 24x30; 30x30; 30x36; 36x36; 36x42 e 42x42 m, respectivamente, na ordem de -4,9; -12,0; -3,3; -7,6; -10,5; -2,0; 4,2; 5,2; 5,7; 5,0 e 3,8%. Quanto ao CUD, as diferenças foram de -8,0; -20,2; -11,3; -10,7; -12,9; 9,3; 11,8; 10,5; 13,4; 4,6 e 3,2% para os já mencionados espaçamentos, respectivamente. Em linhas gerais, no comparativo entre os coeficientes de uniformidade, verificou-se que o CUD é mais sensível as variações de distribuição de

água, isto por que considera apenas a medida do menor quartil do total dos dados. Em trabalho realizado com irrigação por aspersão nos espaçamentos 6x6, 6x12, 12x12, 12x18, 18x18, 18x24, 24x24, 24x30 e 30x30 m, Tuta et al. (2013), observaram resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho.

No comparativo entre a uniformidade da lâmina precipitada e a lâmina armazenada em cana com dossel de 0,7 m, verificou-se, tendo como base o CUC, que à medida que se aumentou o espaçamento entre aspersores, estabeleceu-se uma tendência de aumento na diferença entre a lâmina que foi precipitada e a que foi armazenada (Figura 5A). Neste sentido, sob espaçamento 12x12 m, a diferença da uniformidade entre a lâmina precipitada e armazenada foi de 13,62% e sob espaçamento 42x42 m, foi de 65,24%, ou seja, com o aumento do espaçamento entre aspersores, outros componentes do balanço hídrico, por exemplo, a interceptação pelas folhas, passaram a influenciar decisivamente para a redução da uniformidade da lâmina armazenada em relação a precipitada.

Figura 5. Resultados para onze simulações de espaçamentos em função da altura de corte da cana-de-açúcar, considerando-se a lâmina precipitada e armazenada. Carpina-PE, 2014. (A) Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e (B) Coeficiente de uniformidade de distribuição para cana baixa.



Ainda em relação à diferença entre a uniformidade da lâmina precipitada e armazenada em cana com dossel de 0,7 m, utilizando como referência o CUD (Figura 5B), verificou-se que a diferença da uniformidade entre lâmina precipitada e armazenada foi maior em relação a análise anterior (CUC), apresentando diferença de 17,69% sob espaçamento de 12x12 m e 75,34% sob espaçamento de 42x42 m. Estes resultados permitem inferir que o comportamento da uniformidade, quando se adotou o CUD, foi mais sensível a variação positiva do espaçamento entre aspersores em relação ao comportamento observado quando utilizou-se o CUC.

Em outra análise, a redução da uniformidade de distribuição, considerando-

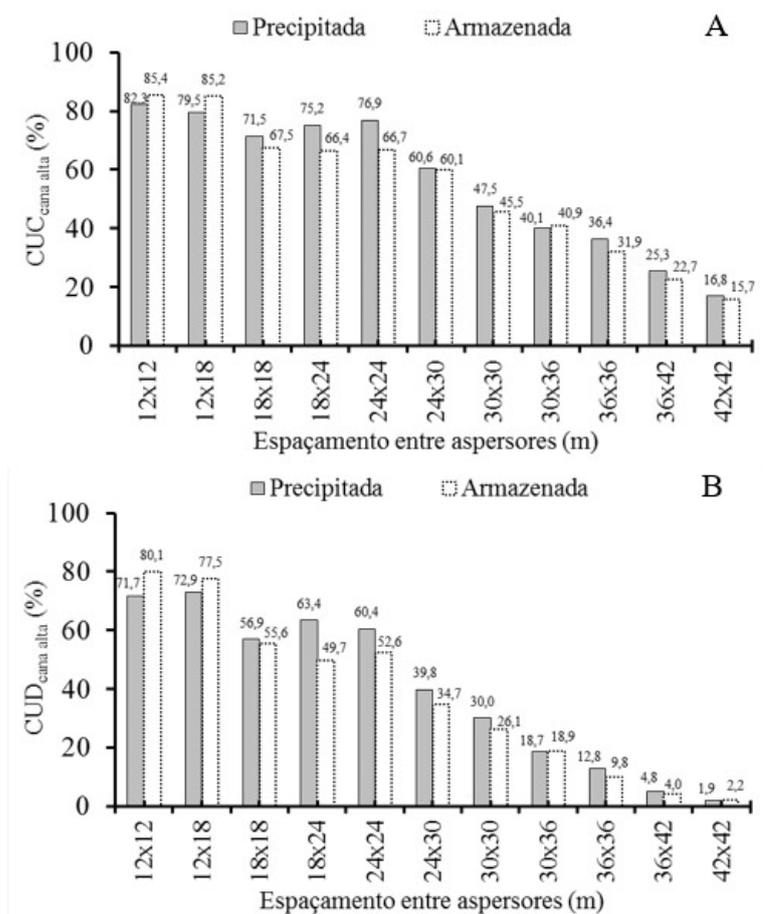
se a lâmina precipitada e armazenada, apresentou tendência de crescimento independente da metodologia de cálculo, de modo que, em que pese o óbvio aumento de custos com o adensamento dos aspersores, dado a necessidade de água da planta, o custo do milímetro armazenado pode tornar-se maior com o aumento do espaçamento no cenário de cana com dossel de 0,7 m. Em outra análise, variando a altura do aspersor entre 1,0 e 1,5 m, Tamagi et al. (2016) verificaram maior uniformidade quando adotaram aspersor mais alto e Paulino et al. (2009) comentam que valores reduzidos de uniformidade aumentam os custos de produção, em decorrência do maior consumo de água e energia, maior perda de

nutrientes e déficit hídrico, em significativa proporção da área irrigada.

No cenário de cana com dossel de 2,8 m, sob a perspectiva do CUC (Figura 6A), verificou-se que a diferença entre a lâmina precipitada e armazenada alterou-se com a variação dos espaçamentos entre aspersores sem apresentar tendência específica de comportamento, sendo verificado maior diferença entre a lâmina precipitada e a lâmina armazenada (13,26%) sob espaçamento de 24x24 m. Vale ressaltar, no entanto, que com o aumento do espaçamento

entre aspersores, verificou-se tendência de redução do CUC das lâminas precipitada e armazenada em seus valores absolutos. Quando se adotou o CUD (Figura 6B), ainda em cana com dossel de 2,8 m, verificou-se maior sensibilidade da uniformidade com o aumento dos espaçamentos entre aspersores, com diferenças entre lâminas precipitada e armazenada de até 97,25% quando comparou-se dados sob espaçamento de 12x12 e 42x42 m, ou seja, valor 16,08% maior quando em mesma comparação utilizando o CUC.

Figura 6. Resultados para onze simulações de espaçamentos em função da altura de corte da cana-de-açúcar, considerando-se a lâmina precipitada e armazenada. Carpina-PE, 2014. (A) Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e (B) Coeficiente de uniformidade de distribuição para cana alta.



Em análise geral, independente da metodologia adotada para o cálculo da uniformidade, a diferença entre a lâmina precipitada e armazenada foi menor na cana

com dossel de 2,8 m em relação à cana com dossel de 0,7 m. Dentre outros aspectos plausíveis, a diferença no índice de área foliar - IAF nos cenários propostos, enfatiza

o papel da interceptação de parte da massa de água realizada pelas folhas da cana-de-açúcar e do microclima decorrente do adensamento das plantas, os quais, sob efeito da gravidade, proporcionam o deslocamento da água para o solo e favorecem o seu armazenamento e conservação, ao passo que para área sob cana com dossel de 0,7 m, outras condições como maior incidência solar direta no solo, passagem de maior massa de vento, evapotranspiração direta entre outros condicionantes dedutivos do balanço hídrico implicam em maiores perdas de água e aumentam as diferenças de uniformidade acima e abaixo da superfície do solo.

6 CONCLUSÕES

A cana com dossel de 2,8 m proporciona maior armazenamento de água no solo e melhor uniformidade de

distribuição em relação à cana com dossel de 0,7 m, independente do espaçamento entre aspersores, no entanto, com o aumento do espaçamento no intervalo 12x12 a 42x42 m, verificou-se redução média no armazenamento de até 91,89% e na uniformidade de até 97,25%.

O coeficiente de uniformidade de distribuição apresenta maior sensibilidade ao aumento do espaçamento entre aspersores em relação ao coeficiente de uniformidade de Christiansen, embora ambos indiquem redução na uniformidade com o aumento do espaçamento entre aspersores, independente da altura do dossel da cana-de-açúcar.

As simulações realizadas permitiram estabelecer uma correlação entre a lâmina necessária e o respectivo espaçamento entre aspersores adequado, portanto, nas condições colocadas, recomenda-se que se adote o espaçamento entre aspersores 12x18 m.

7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012**. Brasília, DF: ANA, 2012.

ARAQUAM, W. W. C.; CAMPECHE, L. F. S. M. Avaliação da uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação do perímetro irrigado Nilo Coelho em Petrolina-PE. **Revista Semiárido De Visu**, Petrolina, v. 2, n. 3, p. 303-316, 2012.

BERNARDO, S.; SOARES, A. S.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2011.

CAMPOS, P. F.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D.; FONTOURA, P. R.; EVANGELISTA, A.W.P. Variedades de cana-de-açúcar submetidas à irrigação suplementar no cerrado goiano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 6, p. 1139-1149, 2014.

CARVALHO, R. R.; TARTARI, R.; RADMANN, V.; PAGANI, C. H. P. Monitoramento da vazão em rios da região sul do Amazonas. **Revista EDUCamazônia**, Humaitá, v. 7, n. 1, p. 8-27, 2014.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Station, 1942. (Boletim, 670).

CUNHA, F. F.; PORDEUS, R. V.; MARACAJÁ, P. B.; FREITAS, R. S.; MESQUITA, L. X. Manejo de microirrigação baseado em avaliação do sistema na cultura do meloeiro. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 147-155, 2008.

DRUMOND, L. C. D.; ZANINI, J. R.; FERNANDES, A. L. T.; RODRIGUES, G. P. Uniformidade de distribuição superficial e subsuperficial de água e de água residuária de suinocultura com irrigação por aspersão em malha. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 415-425, 2006.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.

HOLANDA, L. A.; SANTOS, C. M.; SAMPAIO NETO, G. D.; SOUSA, A. P.; SILVA, M. A. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 4, p. 573-584, 2014.

MARIN, F. R.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 232-239, 2013.

MARTINS, C. A. S.; REIS, E. R.; GRACIA, G. O.; RIGO, M. M.; ARAUJO, G. L. Análise de sistemas de irrigação por aspersão convencional no sul do estado do Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 5, n. 3, p. 235- 244, 2011a.

MARTINS, C. A. S.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R.; GRACIA, G. O. Desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Idesia**, Arica, v. 29, n. 3. p. 65-74, 2011b.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978.

PAULINO, M. A. O.; FIGUEIREDO, F. P.; FERNANDES, R. C.; MAIA, J. T. L. S.; GUILHERME, D. O.; BARBOSA, F. S. Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 3, n. 2, p. 48-54, 2009

RIBEIRO, B. A.; CÂMARA, S. F. A história do trabalho nas sociedades pré-capitalistas: reflexões preliminares sobre o papel desempenhado pelo trabalho na produção dos bens materiais e ideológicos e na formação das sociedades divididas em classes sociais. **Conexão ciência**, Formiga, v. 10, n. 2, p. 146-164, 2015.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: SBCS/EMBRAPA/CNPS, 2005.

SOIL CONSERVATION SERVICE. **National Engineering Handbook**. Washington: Sprinkler Irrigation, 1968. cap. 11, sec. 15.

TAMAGI, J. T. T.; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A.; VILAS BOAS, M. A. Uniformidade de distribuição de água de irrigação por aspersores compensantes e não compensantes em diferentes alturas. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 4, p. 631-647, 2016.

TUTA, N. F.; GONÇALVES, I. Z.; FEITOSA, D. R. C.; BARBOSA, E. A. A.; DEUS, F. P.; RIBEIRO, M. D.; MATSURA, E. E. Efficient water application on soil surface and in the soil profile in a sprinkler irrigation system. **Agrociencia**, Concepción, v. 47, n. 2, p. 107-119, 2013.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, E. L.; DELAZARI, F. T. Produtividade de colmos e rendimento de açúcares da cana-de-açúcar em função de lâminas de água. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 234-244, 2012.

ZOCOLER, J. L.; ORSI, M. E. R.; LIMA, R. C.; RODRIGUES, R. A. F. Variação entre a lâmina de irrigação aplicada e armazenada no solo sob condições de irrigação com baixa uniformidade de distribuição de água. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 171-183, 2013.