

UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE SÓLIDOS DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA INDÚSTRIA DE ETANOL APLICADA COM SISTEMA AUTOPROPELIDO

Decio Mossini Junior¹, Liliane Scabora Miotto², Altair Bertonha³, Paulo Sérgio Lourenço de Freitas³

¹ Engenheiro Agrícola, Mestre em Ambientes e Sistemas de Produção Agrícola. E-mail: deciomossinijr@hotmail.com

² Docente da Universidade Estadual de Maringá – UEM, Campus do Arenito, Cidade Gaúcha – PR. E-mail: liliscabora@hotmail.com (Autor para correspondência)

³ Docente da Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá – PR. E-mail: abertonha@uem.br ; pslfreitas@uem.br

RESUMO: A água residuária de indústria de etanol (AR) é composta por altos teores de minerais e matéria orgânica por ser originária da mistura de vinhaça com outras águas de processo como a água de lavagem da cana-de-açúcar. Este resíduo é empregado pelas usinas de etanol na fertirrigação de seus canaviais, utilizando sistemas autopropelidos de irrigação. Neste contexto o presente estudo tem por objetivo comparar a uniformidade de distribuição dos sólidos e da lâmina de AR aplicada durante a fertirrigação. Para tanto, amostras de AR foram coletadas ao longo do diâmetro molhado do aspersor canhão de um autopropelido, em uma área de cultivo de cana-de-açúcar, com as quais se montou três perfis, respectivamente de lâmina de AR (L), sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) contidos nesta AR. Estes perfis foram comparados entre si e também em função da distância ao longo do raio hidráulico do canhão. Também foi calculado o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen para a estimativa da uniformidade de distribuição de L e analogicamente de ST e de SV. Com base nos resultados, conclui-se que a quantidade de L aplicada por unidade de área é mais uniforme que a de ST e SV, que há diferença de níveis de ST e SV aplicados, por unidade de área, ao longo do jato do canhão hidráulico e que os maiores valores de CUCs, para as três variáveis ocorrem tanto na sobreposição total dos jatos quanto para os espaçamentos de 51, 54 e 57 m entre carregadores.

PALAVRAS-CHAVE: Fertirrigação, Resíduo, Uniformidade de aplicação

UNIFORMITY OF SOLID DISTRIBUTION OF WASTEWATER FROM THE ETHANOL INDUSTRY APPLIED WITH SELF-PROPELLED SYSTEM

ABSTRACT: Ethanol industry wastewater (AR) is composed of high levels of minerals and organic matter because it originates from the vinasse mixture with other process waters such as sugar cane washing water. This residue is used by the generating plants in the fertirrigation of their cane fields, using self-propelled irrigation systems. In this context, the present study aims to compare the uniformity of distribution of solids and of the AR blade applied during fertirrigation. For that, samples of AR were collected along the application profile of the cannon sprinkler of a self-propelled, in a sugarcane cultivation area, with which three profiles were assembled, respectively blade of AR (L), total solids (ST) and volatile solids (SV). These profiles were compared to each other and also as a function of the distance along the hydraulic radius of the cannon. The Christiansen Uniformity Coefficient was also calculated for the estimation of the distribution uniformity of L and analogously of ST and SV. Based on the results it is concluded that the amount of L applied per unit area is more uniform than that of ST and SV, and that there are differences of ST and SV levels applied, per unit area, along the cannon jet hydraulic and that the highest values of CUCs for the three variables occur both in the total overlap of the jets and in the spacing 51, 54 e 57 m between carriers.

KEY WORDS: Fertirrigation, Residue, Uniformity of application

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de derivados de cana-de-açúcar no mundo e visto como um dos grandes geradores de açúcar e álcool combustível. Entretanto a atividade sucroalcooleira produz abundantes volumes de resíduos que apresentam limitações no acondicionamento, nos processos de tratamento, no destino que se dá a estes resíduos e particularmente nas limitações de sua aplicação no solo (Costa et al., 2013, Uyeda et al., 2013, Silva et al., 2014).

Os efluentes líquidos de agroindústrias *in natura* ou processados são classificados, no Brasil, como água residuárias (Resolução CNRH N° 54, 2005). Seu emprego na fertirrigação ainda carece de sistematização apesar de alguns critérios serem empregados, como no Estado de São Paulo onde se aplica a Norma Técnica P4.231-CETESB para fertirrigação com águas residuárias de indústria de etanol (AR), que limita a concentração de potássio no solo, consequentemente a quantidade deste resíduo aplicado.

A AR é composta por água de lavagem da cana-de-açúcar, que fica em torno de 2,5 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar processada, e vinhaça que em média são produzidos 13 m³ a cada metro cúbico de álcool destilado (Paulino et al., 2011, Lima et al., 2013). Este resíduo contém em torno de 93% de água e 7% de constituintes sólidos orgânicos e inorgânicos, no qual apresenta em sua composição química, pH ácido, elevada concentração de matéria orgânica e de nutrientes (Camargo et al., 2009).

A disposição de AR da indústria sucroalcooleira, no cultivo da cana-de-açúcar é uma alternativa viável economicamente, e pode ser utilizada como fonte de potássio para a cultura (Basso et al., 2013, Francisco et al., 2015, Yamaguchi et al., 2017). Devido a sua composição, ao ser adequadamente aplicada, a AR promove melhoria na fertilidade do solo em virtude ao aporte de minerais e na estrutura física do solo devido ao alto teor de matéria orgânica em sua composição, além de aportar água para irrigação (Bonini et al., 2014, Godoy et al., 2014). Por outro lado seu emprego indevido pode causar danos à composição química e a estruturação do solo (Oliveira et al., 2015) bem como contaminação do lençol freático e comprometer a biota do solo.

Existem várias formas de aplicação da AR, dentre elas, pode-se destacar a aplicação via irrigação por aspersão. Entre os sistemas de irrigação por aspersão, o sistema mais difundido para prática de fertirrigação com AR nas usinas e destilarias é o sistema autopropelido com carretel enrolador. A principal vantagem do sistema é ser semiautomatizado, pois possui

dispositivo que promove a locomoção do aspersor, enquanto este faz a distribuição do líquido na área irrigada (Barreto et al., 2009; Souza et al., 2015).

Diante deste contexto o presente trabalho tem por objetivo avaliar a uniformidade de aplicação dos componentes da água residuária da indústria de etanol ao longo do raio molhado do canhão hidráulico de um sistema autopropelido.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados para a realização deste trabalho foram levantados na região noroeste do Paraná, a uma altitude de 404 m, latitude de 23°22'30" Sul e longitude 52°56'00" Oeste, em uma área com declividade média de 6,5%. O Clima local é Sub-Tropical Úmido Mesotérmico, conforme classificação de Köppen e o solo classificado como Latossolo Vermelho de textura areia franca.

Segundo dados da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada no Campus do Arenito da Universidade Estadual de Maringá, que se encontra a 5 km da área experimental, no momento da realização do ensaio a velocidade média do vento no local era 0,9 m.s⁻¹.

Para a aplicação da AR na área, foi empregado um autopropelido com carretel enrolador modelo Turbomaq 140 GR da marca Irrigabrazil. Este equipamento possui uma mangueira de polietileno de média densidade com comprimento máximo de 350 m e na sua extremidade um canhão hidráulico modelo Twin-202 da marca Komet, com trajetória de 24° e um bocal de 37,5 mm, trabalhando com 210 Kpa de pressão e vazão estimada de 77,0 m³ h⁻¹.

No campo foram instalados coletores de termoplástico da marca Fabrimar, com 80 mm de diâmetro a 0,3 m de altura do solo, com o emprego de hastes de ferro de construção de ¼" e comprimento de 0,5 m. Os coletores foram posicionados em quatro linhas com 10 coletores cada, ficando duas linhas de cada lado, transversalmente ao carreador onde o equipamento se desloca. Nas linhas o primeiro coletor foi instalado a 3,0 m da margem do carreador onde trafega o equipamento, para os demais coletores também foi adotado o espaçamento de 3 m.

O sistema autopropelido deslocou-se irrigando a lâmina de vinhaça através dos coletores a uma velocidade de 36,5 m.h⁻¹

Após o jato do canhão do autopropelido ter passado pelas linhas de coletores, os volumes de AR acumulados em cada coletor, foram quantificados com auxílio de uma proveta e posteriormente armazenados em sacos plásticos.

Posteriormente, em laboratório foram quantificados os sólidos totais, fixos e voláteis de cada amostra, conforme metodologia proposta pela ABNT/ NBR 10664 (1989).

De cada amostra coletada foi retirado um volume de 100 ml e depositado em uma cápsula de porcelana de massa conhecida. Em seguida as amostras foram levadas a estufa com uma temperatura de 105° C, até que suas massas se tornassem constantes. Ao sair da estufa a massa de cada amostra foi quantificada, e obteve-se a quantidade de sólidos totais (ST).

Posteriormente, as amostras foram colocadas em uma mufla, onde permaneceram por uma hora, a 550° C. Ao sair da mufla a massa de cada amostra foi quantificada, obtendo-se a quantidade de sólidos totais fixos. Através da diferença entre a quantidade de sólidos totais, e sólidos fixos, obteve-se a quantidade de sólidos voláteis (SV).

Para cada variável resposta (L, ST e SV) foi construído um perfil e ajustado um modelo de regressão linear misto em função da distância do coletor até o autoprovelido. Como as medidas dentro de cada perfil não são independentes, uma estrutura de correlação para os erros foi considerada (Laird & Ware, 1982). A variável distância do canhão (D) foi considerada como um fator de 10 níveis (D_0, D_3, \dots, D_{30}) e na análise, os dados dos coletores foram comparados com a média. Dessa forma, a observação na j -ésima ($j=1, \dots, 10$) distância do i -ésimo ($i=1, \dots, 4$) perfil da variável resposta, $V.R._{ij}$, é dado pela Equação 1:

$$V.R._{ij} = \beta_0 + \beta_1 \times D_3 + \beta_2 \times D_6 + \dots + \beta_{10} \times D_{30} + b_i + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

Em que:

β_0 - representa o valor esperado para a variável resposta, média;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{10}$ - são os efeitos fixos das variáveis indicadoras D_3, D_6, \dots, D_{30} das distâncias dos coletores.

O efeito aleatório associado a cada i -ésimo perfil é dado por b_i e o resíduo associado a observação na j -ésima distância do i -ésimo perfil é denotado por ϵ_{ij} .

Para simular o efeito da sobreposição dos jatos em função da distância entre carregadores (D) foram estimadas as L (mm) e os totais de ST e SV (g.m^{-2}) considerando a D de 30 m, que corresponde à sobreposição total dos raios molhados até 60 m que corresponde ao tangenciamento dos extremos dos raios molhados, em intervalos de 3 m, conforme recomendações de Bastos et. al. (2014). Para avaliar estas sobreposições foi determinada a

uniformidade de distribuição do sistema com o emprego do coeficiente de uniformidade de Christiansen (Equação 2).

$$CUC=100. \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{n \cdot \bar{q}} \right] \quad (2)$$

Em que:

q_i = L calculada com o volume de AR de cada coletor, mm ou a quantidade de SV ou de ST encontrada em cada coletor, gm^{-2} ;

\bar{q} = L ou SV ou ST médios, respectivamente em mm e $g.m^{-2}$;

n= o número de coletores.

A interpretação dos valores de CUC baseou-se na metodologia proposta por Mantovani (2001) para sistema de aspersão: Excelente >90%, Bom entre 80 e 90%, Razoável entre 70 e 80%, Ruim entre 60 e 70% e inaceitável abaixo de 60%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, estão apresentadas as médias das quatro linhas de coletores para as variáveis L, ST e SV em um perfil monorradial em função da distância do canhão hidráulico.

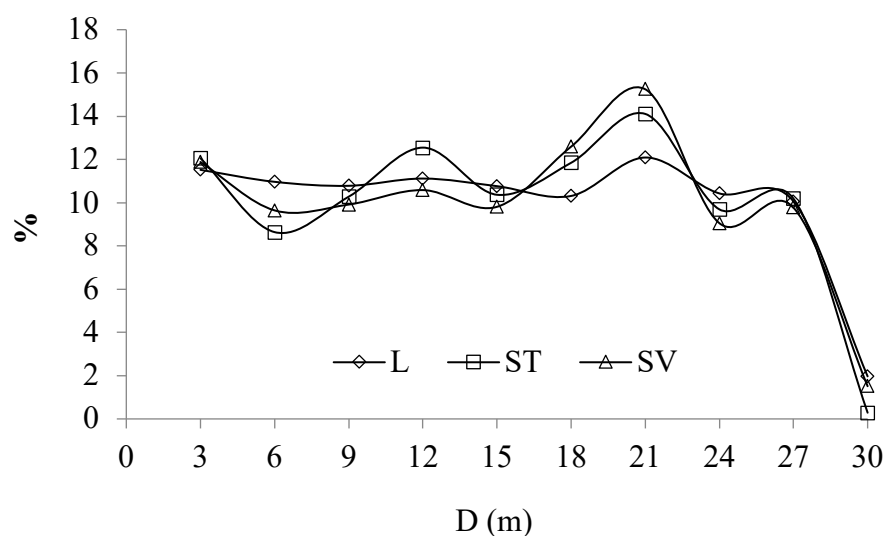


Figura 1 - Valores médios (porcentagem em função do total) das quatro linhas de coletores para L, ST e SV, em um perfil monorradial a partir do carreador.

Pela análise estatística dos dados coletados, tanto para L quanto para ST e SV houve diferença significativa $p < 0.05$ somente para os dados dos pluviômetros instalado à 30 metros do carreador. Isto mostra uma grande uniformidade tanto de L quanto de ST e SV ao longo do raio molhado do emissor (Figura 1).

Evidencia-se assim, que o canhão apresenta desempenho adequado para ser avaliado quanto ao efeito da distância entre carreadores, sem interferência significativa de outros fatores como velocidade do vento e temperatura ambiente no perfil tanto de L quanto de ST e SV.

Assim sendo, a partir de uma situação ideal, em que há homogeneidade da solução aplicada e que não há outros impedimentos, vamos considerar este tipo de irrigação como o arremesso individual de partículas, os sólidos fixos e os sólidos voláteis que compõem os sólidos totais e as gotas de água. Estas partículas saem do ponto de lançamento com um mesmo ângulo, entretanto, se suas massas forem diferentes, suas velocidades serão diferentes e, portanto, a distância percorrida também será diferente. Deve-se considerar também o efeito do martelete do canhão hidráulico desviando continuamente a direção do fluxo do jato e, por conseguinte, interferindo na distribuição das variáveis distintamente.

A uniformidade de L em função da distância difere do resultado encontrado por Bastos et al. (2014) que em estudo com uniformidade de aplicação com sistema autopropelido, constataram que à medida que se aumentava a distância alcançada pela lâmina aplicada, a precipitação diminuía. Isto se deve às diferenças entre modelos de emissores, condições climáticas e pressão de serviço empregada, fatores que provocam diferenças nos perfis de L.

No entanto o resultado do presente estudo coincide com a descrição de Prado et al. (2012) que ressalta que os aspersores do tipo canhão hidráulico, utilizados em sistemas autopropelidos de irrigação, operando com combinações adequadas de diâmetro de bocais, pressão de serviço e ângulos de lançamento de jato entre 24° e 28° apresentam um perfil radial que tende para a forma geométrica teórica retangular.

Barreto et al. (2009) observaram a mesma tendência na concentração de SV conforme o aumento da distância do aspersor, com aplicação de água residuária de suinocultura, no entanto para sólidos totais verificaram que houve uma concentração maior de sólidos no coletor mais afastado do aspersor. Este fato pode ser atribuído à diferença de peso específico das partículas sólidas presentes no dejetos de suínos, quando comparadas com as partículas da AR em avaliação. Demonstra também que a falta de padronização das águas residuárias empregadas dificultam as comparações entre trabalhos.

Os valores percentuais de cada coletor em função da soma de todos os valores coletados, para a L, ST e SV (Figura 2A, 2B e 2C respectivamente) em um perfil birradial, transversal ao eixo de deslocamento do autopropelido são apresentados a seguir.

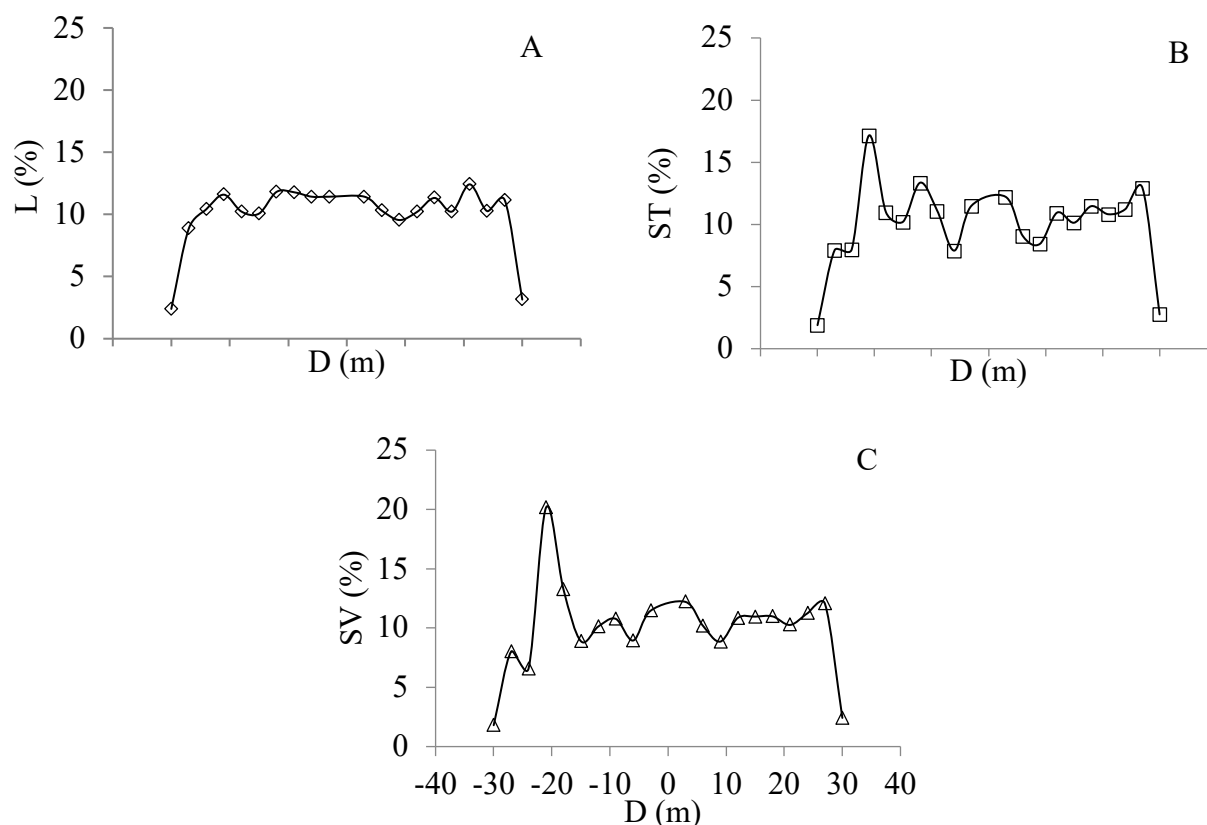


Figura 2 - Valores médios (porcentagem em função do total) das quatro linhas de coletores (parcelas) para L (A), ST (B) e SV (C), em um perfil birradial, sendo o ponto zero o local onde transita o autopropelido, os valores positivos de D as coletas do lado direito e os negativos as do lado esquerdo do autopropelido.

Observa-se na Figura 2A, 2B e 2C que não ocorreram coincidências entre os perfis das variáveis, nem tampouco entre os lados direito e esquerdo, de cada variável. O que pode ser destacado para o perfil de L é sua maior uniformidade em relação aos perfis de ST e SV e que os maiores desvios ocorreram predominantemente no lado esquerdo do carreador.

Sendo a massa de sólidos maior que a da água, provavelmente estas desuniformidades sejam causadas pela deriva, que arrastaria a água mais intensamente que os sólidos nela contidos. Embora a velocidade do vento no momento do ensaio seria na ordem de $0,9 \text{ ms}^{-1}$.

O formato dos perfis do jato de água dos emissores tipo canhão hidráulico foram discutidos por Prado e Colombo (2007), destacando os fatores: diâmetro de bocal e pressão de serviço, como aqueles que afetam diretamente na forma geométrica do perfil radial de distribuição de água do aspersor. Os autores relatam que o perfil radial de um emissor PLOLA-RL250 operando sob combinações adequadas de bocais e pressões de serviço, forma um perfil teórico retangular, mas em condições de baixas pressões de serviço associadas aos maiores diâmetros de bocais levam ao acúmulo de água no extremo do perfil. Como este fato não ocorreu com as variáveis avaliadas neste trabalho, entende-se que a pressão de trabalho e o diâmetro de bocal empregado eram adequados para a atividade, não obstante é preciso diferenciar as partículas de sólidos das moléculas de água, pois possuem massa diferente, e por este motivo apresentaram perfis distintos.

Na Tabela 1 são apresentados os valores de CUC das simulações das três variáveis em estudo com afastamentos de 3 em 3 m. O espaçamento de 30 m corresponde à sobreposição total e o espaçamento a 60 m a distância que corresponde ao tangenciamento dos jatos, ou seja, a maior distância entre os carregadores que recebe, no mínimo, a precipitação de um dos autopropelidos.

Nesta simulação constata-se duas classes, com sobreposição e sem sobreposição, do jato. A presença destas duas classes de cada variável é a principal causa da desuniformidade entre os valores simulados.

Os valores de CUC variaram de 70% a 88% para a lâmina, sendo que para todos os espaçamentos simulados o CUC foi maior que 70%. Para os ST o CUC variou de 65% a 86%, e apenas os espaçamentos 36, 39 e 42 m apresentaram valores menores que 70%. Já para os SV o CUC foi de 65% a 84%, e para os espaçamentos de 36, 39 e 42 m os valores de CUC foram menores que 70%.

Tabela 1 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC em %) para L, ST e SV com distância entre carregadores, múltiplas de 3 metros entre a sobreposição total dos jatos até a maior distância entre os carregadores que contenha sobreposição dos raios molhados.

	L	ST	SV
D (m)	CUC (%)	CUC (%)	CUC (%)
30	88	86	84
33	77	73	75
36	72	65	67
39	70	66	65
42	70	67	65
45	74	71	70
48	79	77	77
51	84	84	83
54	87	84	83
57	85	84	80
60	79	78	74
Média	79	76	75

Valores de CUC entre 60 e 70% na irrigação por aspersão são considerados ruins segundo Mantovani (2001). Vale ressaltar que o valor (70%) citado pelo autor é para aplicação de água, e não para resíduo, e que a presença de sólidos nos resíduos podem influenciar na uniformidade de aplicação, podendo ocorrer alteração do seu valor.

Observa-se a diferença entre os CUCs tanto em função da distância entre carregadores quanto entre variáveis na mesma distância, fato que condiz com as observações de Rodrigues et al. (2012), trabalhando com águas residuárias de suinocultura, que observou diferenças na lâmina aplicada para diferentes equipamentos e para diferentes larguras de faixas molhadas.

Outro ponto que pode ser observado é a redução dos CUCs de 33 até 42 m, para as três variáveis, e elevação dos valores a partir desta distância. Rodrigues et al. (2012) ao estudarem o CUC de um sistema autopropelido com diâmetro de bocal do canhão de 32,5 mm, notaram um aumento da uniformidade de 56 até 66 m, e redução a partir deste ponto até 90 m. Este antagonismo se deve ao perfil do jato do canhão hidráulico que está relacionado principalmente com o diâmetro de bocal e pressão de serviço do emissor. Os autores também salientam que a

velocidade de recolhimento do canhão hidráulico pelo carretel enrolador pode interferir no CUC, fato que não foi observado neste trabalho.

Ao buscar a maior distância entre linhas de deslocamento do autopropelido, com o propósito de reduzir o custo da aplicação da AR, mantendo a uniformidade de distribuição, pode-se afirmar que esta condição foi obtida simultaneamente para as três variáveis com o espaçamento de 30, 51, 54 e 57 m, apresentando valores de CUC acima de 80%.

Analogamente podemos afirmar que este conceito de uniformidade vale também para SV e ST, conforme utilizado por Barreto et al. (2009) que em estudo, não observaram diferenças significativas entre os coeficientes de uniformidade de Christiansen em função da concentração de sólidos totais contidos na água residuária de suinocultura.

CONCLUSÕES

O volume de AR coletado em função da distância dos coletores no perfil monorradial para a L, ST e SV apresentou diferença significativa apenas na distância de 30 m.

O perfil de distribuição da variável L apresentou maior uniformidade, em relação ao perfil de ST e SV.

A distância entre carregadores com sobreposição total apresentou maior valor de CUC.

A distância de 60 m entre carregadores apresentou CUC classificado como “bom” para as três variáveis avaliadas.

Os menores valores de CUC ocorreram nas distancias 36,39 e 42 m entre carregadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Águas e Efluentes Líquidos. **NBR 10664 Determinação de resíduos (sólidos)**. 1989.

BARRETO, A. C.; CAMPOS, C. M. M. Avaliação de um sistema de irrigação autopropelido aplicando água residuária de suinocultura. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 33, Edição Especial, p. 1752 -1757, 2009.

BASSO, C. J; SANTI, A. L; LAMEGO, F. P; SOMAVILLA, L; BRIGO, T. J. Vinhaça como fonte de potássio: resposta da sucessão aveia-preta/milho silagem/ milho safrinha e alterações químicas do solo na Região Noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.43, n.4, p. 596-602, 2013.

BASTOS, A. V. S.; OLIVEIRA, R. C.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; BASTOS, F. J. C.; TEIXEIRA, M. B. Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por autopropelido. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial 01, p. 94-103, 2014, nota técnica

BONINI, M. A.; SATO, L. M.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Alterações nos atributos químicos e físicos de um Latossolo vermelho irrigado com água residuária e vinhaça. **Revista Biociências**, v. 20, n.1, p.78-85, 2014.

CAMARGO, J. A.; PEREIRA, N.; CABELLO, P. R. Viabilidade da aplicação do método respirométrico de Bartha para a análise da atividade microbiana de solos sob aplicação de vinhaça. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n.2, p. 264-271, 2009.

COSTA, C. S.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; SANTOS, H. R. B.; CORDEIRO NETO, A. T. Effects of vinasse application under the physical attributes of soil covered with sugarcane straw. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.4, 2013.

FRANCISCO, J. P.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, L. B. D.; SILVA, J.G. B. Monitoramento da condutividade elétrica e pH da solução do solo sob diferentes doses de aplicação de vinhaça. **Engenharia na agricultura**, v.23, n.6, p. 552-561, 2015.

GODOY, F. K.; SARTORIO, S. D.; SOARES, M. R.; CASAGRANDE, J. C. Monitoramento do livixiado de colunas de solo após aplicação de vinhaça in natura e concentrada. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.5, n.2, 2014.

LAIRD, N. M.; WARE, J. H. Random-effects models for longitudinal data. *Biometrics*, 1982 p. 963-974.

LIMA, R. P.; ROLIM, M. M.; DANTAS, M. S. M.; COSTA, A. R. F. C.; DUARTE, A. S.; SILVA, A. R. Atributos químicos de um Neossolo Regolítico distrófico em função das doses e tempos de aplicação de vinhaça. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 7, n. 3, p. 262-268, 2013.

MANTOVANI, E. C. AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001.

OLIVEIRA, S. C.; MIOTO, L. S.; REZENDE, M. K. A.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L. Efeitos da aplicação da vinhaça em capim Aruana (*Panicum maximum* Jacq. cv. Aruana). **Enciclopédia Biosfera**, v.11 n.22; p.1096-1106, 2015.

PAULINO, J.; ZOLIN, C. A.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; FOLEGATTI, M. V. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. II. Características da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.244-249, 2011.

RODRIGUES, R. C., SOUZA, J. M.; PIRES, F. B.; BONOMO, R. Avaliação da uniformidade de aplicação da vinhaça por autopropelido. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15; p. 265-272, 2012.

SILVA, W. P.; ALMEIDA, C.D. G. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, E. F.F.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, V. G. F. Monitoramento da salinidade de águas subterrâneas em várzea cultivada com cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.4, p.394-401, 2014.

SOUZA, K. C.; MESQUITA, F. O.; SOUZA, M. M. A.; FARIAS, C. H. A.; MENDES, H. C.; NUNES, R. M. A. Fertirrigação com vinhaça na produção de cana-de-açúcar. **ACSA – Agropecuária Científica no Semiárido**, v.11, n.2, p.7-12, 2015.

PRADO, G.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. E; FARIA, L. C. Uniformidade de aplicação de água de equipamentos autopropelidos de irrigação com aspersores de perfil radial triangular, elíptico e retangular. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.3, p.522-529, 2012.

PRADO, G.; COLOMBO, A. Análise da uniformidade de aplicação de água pelo aspersor PLONARL250 em sistemas autopropelidos de irrigação. **Irriga**, v.12, n.2, p.249-262, 2007.

UYEDA, C. A.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; MEDEIROS, P. R. F.; DIAS, C. T.S. Influence of vinasse application in hydraulic conductivity of three soils. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.4, p.689-698, 2013.

YAMAGUCHI, C. S.; RAMOS, N. P.; CARVALHO, C. S.; PIRES, A. M. M.; ANDRADE, C. A. Decomposição da palha de cana-de-açúcar e balanço de carbono em função da massa inicialmente aportada sobre o solo e da aplicação de vinhaça. **Bragantia**, v.76, n.1, 2017.