



RBES

Revista Brasileira de
Engenharia e Sustentabilidade

ISSN 2448-1661

Pelotas, RS, UFPel-Ceng

<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/RBES/index>

v.8, n.2, p.21-30, dez. 2020

ESTIMATIVA DA CAPACIDADE EXTRATORA, DOS CAPINS VETIVER E TIFTON EM SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS

TEIXEIRA, D. L.^{1*}; TEIXEIRA, D. V.²; MATOS, A. T.³; MATOS, M. P.⁴; LEITE JÚNIOR, M. C. R.¹

¹ Professor adjunto do Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus Unaí, MG.

² Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

³ In Memoriam

⁴ Professor adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

* Avenida Universitária, nº 1.000, Bairro Universitários; 38610-000; Brazil. Tel.: +55 (31) 3677-9950; E-mail: denis.teixeira@ufvjm.edu.br

Palavras-chave: tratamento de água residuária, absorção de nutrientes, modelagem, nitrogênio, fósforo.

Resumo

Neste trabalho, teve-se por objetivo a obtenção de modelos matemáticos para estimativa da capacidade de extração de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) pelo capim-vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) e capim-tifton 85 (*Cynodon spp.*), quando cultivados em sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial (SACs-EHSS) cujo meio poroso foi saturado com soluções contendo diferentes concentrações de nutrientes. Os cortes da parte aérea dos capins foram realizados de 30 em 30 dias para determinação da produtividade e dos teores de N, P e K no tecido vegetal. Modelos da capacidade extratora de nutrientes foram obtidos em função da condutividade elétrica (CE) na solução nutritiva. Para validação desses modelos, SACs-EHSS também foram operados em condições de escala plena (SACs-EHSSp), no tratamento de esgoto sanitário. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que as extrações de N, P e K pelo capim-vetiver aumentaram linearmente com o aumento da CE na solução nutritiva. Em relação ao capim-tifton 85, foram ajustados modelos quadráticos de extração de N e K. Apesar dos modelos ajustados não terem sido capazes de estimar, com exatidão, a variável avaliada, as informações obtidas podem ser empregadas para o aperfeiçoamento dos SACs-EHSSp.

ESTIMATION OF THE EXTRACTION CAPACITY OF VETIVER AND TIFTON GRASSES IN CONSTRUCTED WETLANDS

Keywords: wastewater treatment, nutrient absorption, modeling, nitrogen, phosphorus.

Abstract

The objective of this study was to obtain mathematical models to estimate the capacity of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) extraction by the vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) and tifton 85 grass (*Cynodon spp.*) when cultivated in horizontal subsurface flow constructed wetlands (HSSF-CWs) whose porous medium was saturated with solutions presenting different nutrient concentration. The grass shoots were cut every 30 days to determine the productivity and N, P and K contents in the plant tissue. Models of the extraction capacity of nutrient were obtained as a function of electrical conductivity (EC) in the nutrient solution. For validation of these models, the HSSF-CWs were also operated under full scale conditions (HSSF-CWsf) for the treatment of sanitary sewage. From the obtained results, it was verified that the extractions of N, P and K by the vetiver grass increased linearly with the increase in EC of the nutritive solution. In relation to tifton 85, quadratic models of N and K extraction were adjusted. Although the adjusted models were not able to accurately estimate the evaluated variable, the information obtained can be used to improve the HSSF-CWsf.

INTRODUÇÃO

O cultivo de plantas em sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial (SACs-EHSS) auxilia na remoção de nutrientes da água residuária em tratamento, principalmente, quando estão em pleno desenvolvimento vegetativo e expressam a máxima absorção de nutrientes, além de proporcionar um aspecto agradável.

A absorção de nutrientes pelas plantas é um dos principais mecanismos de extração dos nutrientes dos SACs-EHSS. De acordo com Matos et al. (2009), as plantas utilizam os nutrientes da água residuária para o seu crescimento, atuando como extratoras de grande parte dos nutrientes. Segundo Gao et al. (2014), quanto maior a concentração de nutrientes no efluente em tratamento, maior será a extração pelas plantas, até se atingir um ponto de máximo, que é característico de cada cultura.

A extração e o acúmulo de nutrientes pelas plantas em SACs-EHSS dependem, entre outros fatores, da condutividade elétrica da solução em tratamento, cujos valores são proporcionais à concentração dos vários íons presentes. Portanto, a condutividade elétrica da solução pode afetar a absorção de água e nutrientes, além do acúmulo de biomassa vegetal aérea das plantas cultivadas nos SACs-EHSS (KADLEC; WALLACE, 2008).

No Brasil, existe grande variedade de espécies vegetais com potencial de cultivo em SACs-EHSS, sendo o capim-vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) e o capim-tifton 85 (*Cynodon* spp.) espécies comumente utilizadas nesses sistemas de tratamento (MATOS et al., 2008, 2009, 2010; DREIFUS, 2012; UCKER et al., 2012; FIA et al., 2015; JESUS, 2016; FIA et al., 2017). O acúmulo de nutrientes na biomassa vegetal aérea é determinado pela produtividade e pela concentração dos nutrientes nos tecidos, sendo o potencial de absorção de nutrientes pelas plantas, geralmente, limitado pela produtividade ou taxa de crescimento, e pelo teor de nutrientes nos tecidos das plantas (GAO et al., 2014).

Considerando-se que o projeto, a operação e a avaliação de SACs-EHSS, possam ser aperfeiçoados, caso se tenha maiores informações em relação à capacidade extratora de nutrientes pelas plantas,

neste trabalho teve-se por objetivo a obtenção de modelos de estimativa da capacidade de extração de nutrientes pelos capins vetiver e tifton 85, em função da concentração de nutrientes, expresso em termos da condutividade elétrica, na solução nutritiva saturante do meio poroso.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Área Experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Experimento em protótipos de SACs-EHSS para obtenção dos modelos

A avaliação do efeito da condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva saturante do meio poroso na capacidade de extração de nutrientes pelos capins vetiver e tifton 85, foi realizado a partir do cultivo destas plantas em protótipos de SACs-EHSS, tendo o monitoramento sido feito no período de 5 de março até 17 de novembro de 2016. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com seis tratamentos (níveis de salinidade) para cada espécie de planta cultivada.

Os protótipos foram construídos em alvenaria, com formato retangular e dimensões médias de 0,92 m de largura, 0,73 de comprimento e 0,35 m de altura. O sistema de drenagem foi confeccionado em tubos de PVC de 32 mm, sendo este colocado em posição oposta ao da entrada da solução nutritiva, mantendo-se a altura de saturação de 0,25 m. Os protótipos foram preenchidos com uma camada de 0,3 m de brita “número 0”, sendo as mudas do capim-vetiver e do capim-tifton 85 transplantadas com densidade de plantio de 12 propágulos por m².

Os níveis de salinidade da solução nutritiva saturante do meio poroso foram monitorados considerando-se os valores de CE de 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 3,0 dS m⁻¹. Esses valores foram estabelecidos, tendo como base a faixa de condutividade elétrica comumente encontrada em águas residuárias tratadas em SACs-EHSS. O preparo das soluções nutritivas era realizado separadamente para cada valor de CE pré-estabelecido, o qual era medido utilizando-se um condutivímetro de bancada, marca Hach, modelo Sension 7.

O pH da solução foi mantido entre 5,5 e 6,5, utilizando-se soluções de ácido clorídrico ou hidróxido de sódio de 0,1 mol L⁻¹. A solução nutritiva utilizada como referência neste trabalho foi a de Hoagland e

Arnon (1950), sendo as concentrações dos nutrientes, para os diferentes valores de CE na solução nutritiva saturante do meio poroso, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Concentração dos nutrientes para os diferentes valores de condutividade elétrica (CE) na solução nutritiva saturante do meio poroso dos protótipos de SACs-EHSS

CE (dS m ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Cu	Mn	Mo	Zn
	----- (mg L ⁻¹) -----						----- (µg L ⁻¹) -----					
0,2	11,5	0,8	6,5	10,4	3,1	4,1	0,3	32	1	45	1	6
0,5	38,3	3,8	24,3	25,9	7,8	10,4	0,8	81	3	113	2	15
1,0	82,8	8,9	53,9	51,8	15,6	20,7	1,6	162	6	227	3	29
1,5	127,4	13,9	83,6	77,8	23,3	31,1	2,4	243	10	340	5	44
2,0	172,0	19,0	113,2	103,7	31,1	41,5	3,2	324	13	454	6	58
3,0	261,1	29,0	172,4	155,5	46,7	62,2	4,9	486	19	680	10	87

A substituição total da solução nutritiva era realizada de 15 em 15 dias, para evitar prejudicial desbalanceamento dos nutrientes. Já os cortes da parte aérea das plantas foram realizados de 30 em 30 dias, para maximizar a extração de nutrientes pelas plantas, sendo o primeiro corte realizado em 16 de abril e o último em 16 de novembro, totalizando 7 cortes ao longo do período de experimentação.

As análises das plantas foram realizadas no Laboratório de Solos e Resíduos Sólidos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, conforme recomendações de Kiehl (1985) e Matos (2015), para análise de tecido vegetal. Para determinação da produtividade de biomassa vegetal aérea, quantificou-se a massa fresca e a massa seca, obtida após secagem em estufa com ventilação forçada a 65 °C, por 48 horas.

A análise nutricional foi realizada em amostras secas, sendo inicialmente trituradas em moinho com rotor de facas e, posteriormente, quantificados os teores de nitrogênio total (N), fósforo (P) e potássio (K). O N foi quantificado de acordo com o processo semi-micro Kjeldahl, enquanto o P e o K foram quantificados após a digestão nítrico-perclórico das amostras, utilizando-se espectrofotômetro e fotômetro de chama, respectivamente, para quantificação dos teores.

A partir dos dados de produtividade de matéria seca e dos teores de N, P e K nas plantas, foi calculada a

capacidade de extração de cada nutriente pelos capins vetiver e tifton 85 (Equação 1).

$$Ext_{N, P ou K} = \frac{P \times T_{N, P ou K}}{100} \quad (1)$$

em que,

$Ext_{N, P ou K}$ - extração de N, P ou K pelos capins vetiver ou tifton 85 (g m⁻² mês⁻¹);

P - produtividade de matéria seca dos capins vetiver ou tifton 85 (g m⁻² mês⁻¹);

$T_{N, P ou K}$ - teor de N, P ou K na matéria seca dos capins vetiver ou tifton 85 (dag kg⁻¹).

Validação dos modelos obtidos em SACs-EHSS utilizados no tratamento de esgoto sanitário

Para validação dos modelos desenvolvidos, foram utilizados dados provenientes de dois SACs-EHSS, um cultivado com capim-vetiver e outro com capim-tifton 85, ambos utilizados no tratamento de esgoto sanitário, sistemas que foram denominados, neste trabalho como “escala plena” (SACs-EHSSp).

Os SACs-EHSSp, em operação desde agosto de 2014, foram construídos em paralelo com as seguintes dimensões: 4,0 m de comprimento, 1,0 m de largura e 0,4 m de profundidade, com fundo nivelado. O meio suporte é constituído por uma camada de 0,3 m de brita gnáissica “número 0”, sendo as mudas dos capins vetiver e tifton 85 transplantadas com densidade de plantio de 12 propágulos por m². Ao longo dos SACs-

EHSSp, foram instalados tubos de PVC (40 mm) distanciados a cada 1,0 m e cravados verticalmente no meio suporte para possibilitar o monitoramento da CE no esgoto sanitário, ao longo do tratamento. Os valores de CE foram utilizados, posteriormente, para validação dos modelos.

Os SACs-EHSSp foram alimentados com uma vazão média igual a $0,22 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, resultando em uma taxa de carregamento orgânico (TCO) de, aproximadamente, $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de DBO e tempo de detenção hidráulica de 2,0 dias. Os cortes da parte aérea das plantas foram realizados de 30 em 30 dias, sendo o primeiro corte realizado em 2 de maio e o último em 2 de novembro de 2016, totalizando 7 cortes.

Para validação dos modelos os SACs-EHSSp foram divididos em quatro partes iguais, resultando

em uma área de amostragem igual a 1 m^2 na qual era determinada a produtividade de biomassa vegetal aérea e a capacidade de extração dos nutrientes, seguindo-se a mesma metodologia descrita anteriormente para os protótipos de SACs-EHSS.

A amostragem do esgoto sanitário afluyente aos SACs-EHSSp foi realizada quinzenalmente, durante o período de experimentação, sendo determinados a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total (N), fósforo total (P), potássio total (K) e sódio total (Na) (Tabela 2). As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em conformidade com as recomendações do Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2012).

Tabela 2. Valores médios de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e sódio (Na) no esgoto sanitário afluyente aos SACs-EHSSp cultivados com os capins vetiver e tifotn 85, ao longo do período experimental

Datas das Análises	DBO	N	P	K	Na
	----- (mg L-1) -----				
02/05	211 ± 19	62 ± 5,0	7,0 ± 0,4	7,0 ± 2,0	34 ± 3,0
02/06	212 ± 48	71 ± 6,0	8,0 ± 0,1	11 ± 2,0	41 ± 11
02/07	154 ± 36	71 ± 2,0	9,0 ± 1,0	13 ± 1,0	47 ± 6,0
02/08	151 ± 39	65 ± 1,0	7,0 ± 0,3	12 ± 2,0	32 ± 3,0
02/09	138 ± 32	82 ± 11	9,0 ± 1,0	14 ± 2,0	45 ± 4,0
02/10	156 ± 12	90 ± 2,0	9,0 ± 2,0	11 ± 1,0	41 ± 1,0
02/11	133 ± 15	76 ± 1,0	9,0 ± 1,0	12 ± 1,0	41 ± 1,0

Análises estatísticas

Foram realizadas análises de regressão para cada planta e para cada corte realizado nos protótipos de SACs-EHSS, obtendo-se 7 modelos de estimativa da capacidade de extração de N, P e K em função da CE na solução nutritiva, sendo considerado satisfatório os ajustes que apresentaram comportamento biológico explicável e significância mínima de 10% para os coeficientes.

Os parâmetros dos modelos obtidos foram considerados variáveis dependentes e submetidos à análise de agrupamento por otimização de Tocher, para determinar quais cortes possuíam modelos similares. As análises de regressão e de agrupamento foram realizadas utilizando o programa estatístico SAEG®.

Para validar os modelos provenientes dos protótipos

de SACs-EHSS, foram utilizados os valores de CE no esgoto sanitário em tratamento para estimar a extração de N, P e K pelas plantas, ao longo do sistema de tratamento. Em seguida, plotaram-se os valores estimados com intervalo de confiança de 95%, conjuntamente com os valores reais obtidos, sendo os resultados submetidos à estatística descritiva para avaliação dos modelos desenvolvidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Modelagem da capacidade de extração de nutrientes dos capins vetiver e tifon 85 cultivados em SACs-EHSS

Na Figura 1, estão apresentadas as curvas de capacidade de extração de N, P e K pelos capins vetiver e tifon 85, em função da CE na solução nutritiva, para

as 7 datas de corte avaliadas.

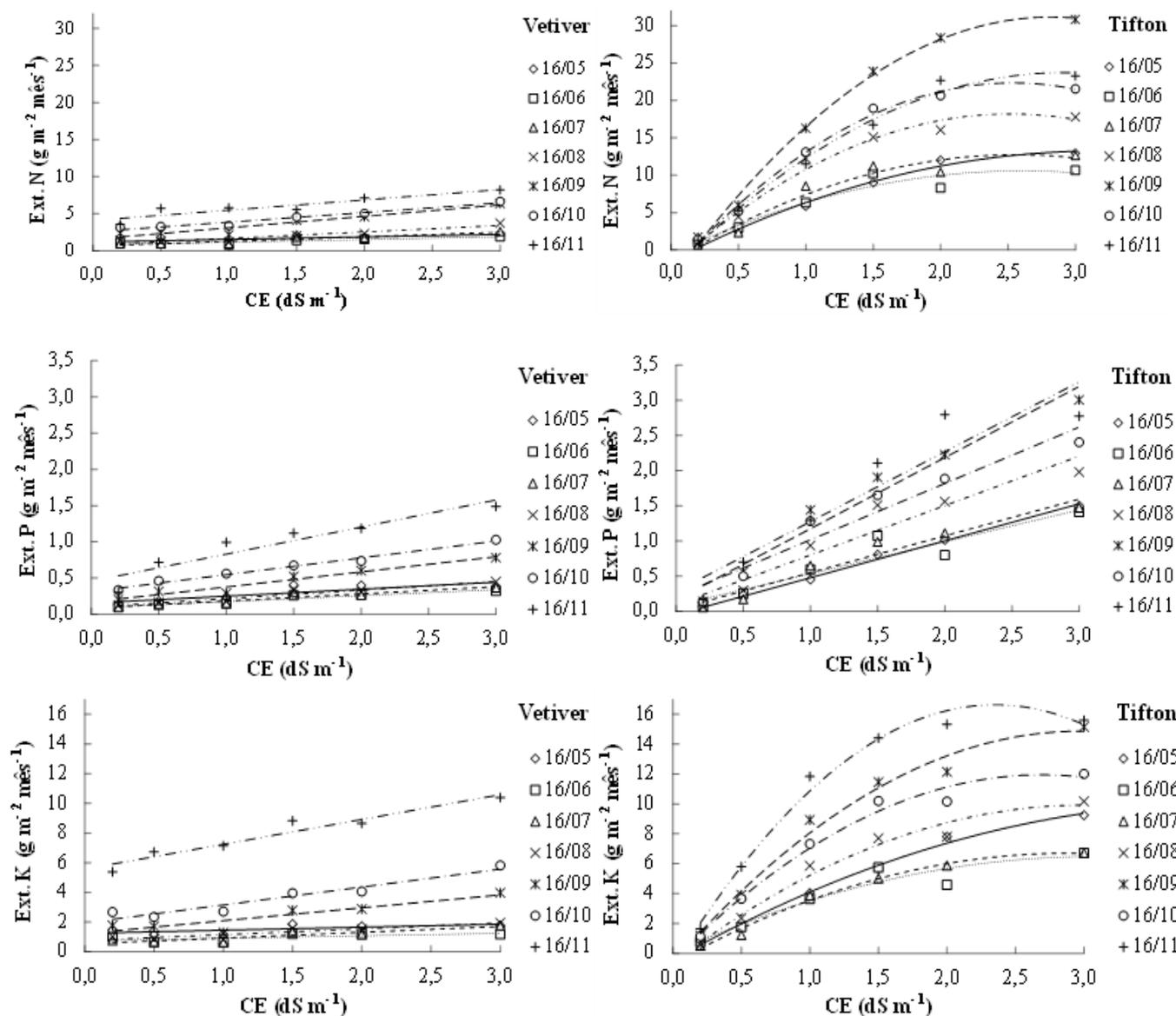


Figura 1. Capacidade de extração de nitrogênio (Ext. N), fósforo (Ext. P) e potássio (Ext. K) pelos capins vetiver e tifton 85, em função da CE na solução nutritiva saturante do meio poroso dos SACs-EHSS.

Considerando os resultados de extração de nutrientes pelas plantas nos SACs-EHSS, verifica-se que o aumento da concentração de nutrientes, expresso em termos da CE na solução nutritiva, resulta em maiores taxas de extração. De acordo com Musyimi et al. (2010), a maior disponibilidade de nutrientes para as plantas pode aumentar a taxa de absorção pelo sistema radicular, favorecendo o acúmulo de nutrientes no tecido vegetal, bem como, o aumento da área foliar para transpiração e fotossíntese.

Observa-se, na Figura 1, que a extração de nutrientes proporcionada pelo capim-vetiver é inferior à do capim-tifton 85, além disso, a variação na

capacidade de extração de N e K em função da CE na solução nutritiva apresenta comportamento linear, no que se refere ao capim-vetiver, e quadrático, para o capim-tifton 85. Isso demonstra a maior capacidade do capim-tifton 85 em acumular nitrogênio no tecido vegetal, característica importante para seleção de plantas a serem utilizadas em SACs-EHSS, onde se deseja maior capacidade de extração de nitrogênio do afluente a ser tratado.

A pequena variabilidade encontrada na extração de K pelo capim-vetiver com a variação da CE na solução nutritiva, demonstra que a extração de K pela parte aérea das plantas, ao longo comprimento dos SACs-

EHSS, pode ser considerada constante, corroborando os resultados obtidos por Jesus (2016), no qual não se observou diferença significativa na extração de K pelo capim-vetiver nas diferentes posições de cultivo nos SACs-EHSS.

Em relação à extração de P, ambos os capins apresentaram aumento linear na extração com aumento da CE na solução nutritiva. Essas observações evidenciam que o capim-vetiver não é uma espécie considerada indicada para ser cultivada em SACs-EHSS a serem utilizados no tratamento de águas residuárias ricas em nutrientes, devido à sua baixa capacidade de extração. Entretanto, ao se comparar as extrações de nutrientes dos capins vetiver e tifton 85, considerando-se dados obtidos para solução nutritiva de CE igual a $0,2 \text{ dS m}^{-1}$, constata-se a superioridade do capim-vetiver, confirmando sua adaptação para cultivo em SACs-EHSS a serem utilizados no tratamento de águas residuárias contendo baixas concentrações de nutrientes.

Na Tabela 3, estão apresentados os parâmetros médios estimados dos polinômios de primeiro e segundo grau, ajustados de extração de N, P e K pelos capins vetiver e tifton 85 em função da CE na solução nutritiva, nas diferentes datas de corte das plantas, bem como os grupos formados pela análise de agrupamento por otimização de Tocher.

As estimativas da capacidade de extração de N, P ou K pelo capim-vetiver pode ser realizada para as estações de outono-inverno e primavera, a partir dos modelos comuns do grupo 1 e 2, respectivamente. Verifica-se que os modelos ajustados aos dados obtidos nos meses mais frios e, conseqüentemente, de menor produtividade de biomassa vegetal aérea, foram agrupados em um mesmo modelo, assim como, para os meses de maior produtividade, originando outro modelo comum.

A análise de agrupamento dos modelos de extração de N e P do capim-tifton 85, em função da CE na solução nutritiva, possibilitou a obtenção de três grupos independentes. O modelo comum do grupo 1 representa os meses frios, em que a extração é baixa, já o modelo comum do grupo 3, caracteriza os meses mais quentes e de maior desenvolvimento vegetativo da planta, apesar de não ter sido a época

de maior capacidade de extração de N pelo referido capim. Já o modelo proveniente da data de avaliação no mês de setembro, pertencente ao grupo 2, foi o que proporcionou a maior extração de N durante o período experimental, em consequência da produtividade de biomassa vegetal seca da parte aérea e do teor de N no tecido vegetal do capim-tifton 85.

Os resultados das análises de agrupamento para extração de K pela parte aérea do capim-vetiver, assim como ocorreu em relação ao capim-tifton 85, resultaram em um grupo unitário para os dados obtidos no mês de novembro, consequência da interação produtividade de biomassa vegetal aérea e teor de K no tecido vegetal aéreo.

As condições climáticas, principalmente a temperatura média do ar, apresenta elevada influência no desenvolvimento vegetativo dos capins, e deve ser considerado na avaliação da capacidade de extração de nutrientes a partir dos modelos obtidos. Jesus (2016), observou que na estação de primavera houve maior remoção de nutrientes pelos capins vetiver e tifton quando comparado ao que foi obtido na estação de inverno. Além disso, o correto manejo das plantas a partir de cortes frequentes nos períodos quentes do ano, potencializa o crescimento e evita o acamamento das plantas, maximizando a remoção de nutrientes nos SACs-EHSS.

Validação dos modelos de estimativa da capacidade de extração de nutrientes

Na Figura 2, estão apresentados os valores estimados, com intervalo de confiança de 95%, da extração de N, P e K dos capins vetiver e tifton 85 para diferentes valores de CE no esgoto sanitário, assim como os valores reais obtidos nos SACs-EHSSp.

De acordo com os dados apresentados na Figura 2, a extração de N e P proporcionada pelo capim-vetiver cultivado no SAC-EHSSp, foi superior à estimativa realizada pelos modelos. Esses resultados se devem ao maior teor de N e P no tecido vegetal da parte aérea do capim-vetiver, uma vez que a produtividade em ambos os sistemas foi semelhante. Apesar da subestimativa, recomenda-se a utilização dos modelos do grupo 1 para estimar a extração de N e P na estação do inverno, considerada a mínima extração proporcionada pela planta.

Tabela 3. Grupos formados e parâmetros médios estimados dos polinômios de primeiro e segundo grau ($f(x) = a+bx+cx^2$) ajustados de extração de N, P e K pelos capins vetiver e tifton 85 ($g\ m^{-2}\ mês^{-1}$) em função da CE ($dS\ m^{-1}$) na solução nutritiva saturante dos SACs-EHSS

NUTRIENTE	CAPIM	GRUPO	DATA	a	b	c	R ²	
Nitrogênio	Vetiver	1	16/05	1,209**	0,333*	---	0,671	
			16/06	0,799**	0,362*	---	0,789	
			16/07	0,663*	0,618**	---	0,888	
			16/08	0,815*	0,865**	---	0,859	
			16/09	1,569*	1,540**	---	0,910	
			M. Comum	1,011*	0,743**	---	0,8848	
	Tifton	2	16/10	2,570**	1,295**	---	0,958	
			16/11	4,094**	1,390*	---	0,831	
			M. Comum	3,332**	1,343**	---	0,9588	
			1	16/05	-1,497 ^{ns}	9,301**	-1,469*	0,989
				16/06	-0,586 ^{ns}	8,568*	-1,644*	0,925
				16/07	-1,634 ^{ns}	11,223*	-2,193*	0,949
	M. Comum	-1,239 ^{ns}	9,697*	-1,769**	0,982			
	Tifton	3	16/09	-4,082*	25,004**	-4,438**	0,996	
			16/08	-2,221 ^{ns}	16,226**	-3,225*	0,982	
16/10			-2,925*	19,926**	-3,929**	0,995		
16/11			-2,796 ^{ns}	18,172**	-3,113*	0,989		
M. Comum			-2,647**	18,108**	-3,423**	0,999		
Fósforo			Vetiver	1	16/05	0,153*	0,096*	---
	16/06	0,090*			0,084**	---	0,917	
	16/07	0,084*			0,099**	---	0,896	
	16/08	0,099*			0,117**	---	0,934	
	16/09	0,166*			0,209**	---	0,952	
	M. Comum	0,118*			0,121**	---	0,923	
	Tifton	2	16/10	0,313**	0,233**	---	0,986	
			16/11	0,455*	0,374**	---	0,877	
			M. Comum	0,384**	0,303**	---	0,937	
			1	16/05	-0,044 ^{ns}	0,524**	---	0,995
				16/06	0,085 ^{ns}	0,453**	---	0,880
				16/07	0,030 ^{ns}	0,522**	---	0,951
	M. Comum	0,024 ^{ns}	0,500**	---	0,965			
	Tifton	3	16/08	0,100 ^{ns}	0,702**	---	0,912	
			16/10	0,219 ^{ns}	0,800**	---	0,934	
M. Comum			0,159 ^{ns}	0,751**	---	0,927		
16/09			0,167 ^{ns}	1,010**	---	0,961		
16/11			0,284 ^{ns}	0,993**	---	0,878		
M. Comum			0,225 ^{ns}	1,001**	---	0,934		
Potássio	Vetiver	1	16/07	0,529*	0,393*	---	0,819	
			16/08	0,758**	0,390*	---	0,796	
			16/09	1,221*	0,869*	---	0,822	
			16/10	1,943**	1,209**	---	0,921	
			M. Comum	1,113**	0,715**	---	0,8735	

Tifton	2	16/11	5,573**	1,668**	---	0,935	
		16/05	-0,461 ^{ns}	5,199**	-0,642*	0,992	
		16/06	0,011 ^{ns}	4,191•	-0,678 ^{ns}	0,914	
		16/07	-0,663 ^{ns}	5,093**	-0,881*	0,989	
		16/08	-0,665 ^{ns}	7,058**	-1,176*	0,976	
	1	16/09	-0,611 ^{ns}	10,428**	-1,757*	0,984	
		16/10	-0,469 ^{ns}	9,226**	-1,714*	0,983	
		M. Comum	-0,476 ^{ns}	6,866**	-1,141*	0,988	
		2	16/11	-0,820 ^{ns}	14,851**	-3,159**	0,988

sendo: ** significativo em nível de 1%; * significativo em nível de 5%; • significativo em nível de 10% e ns não significativo.

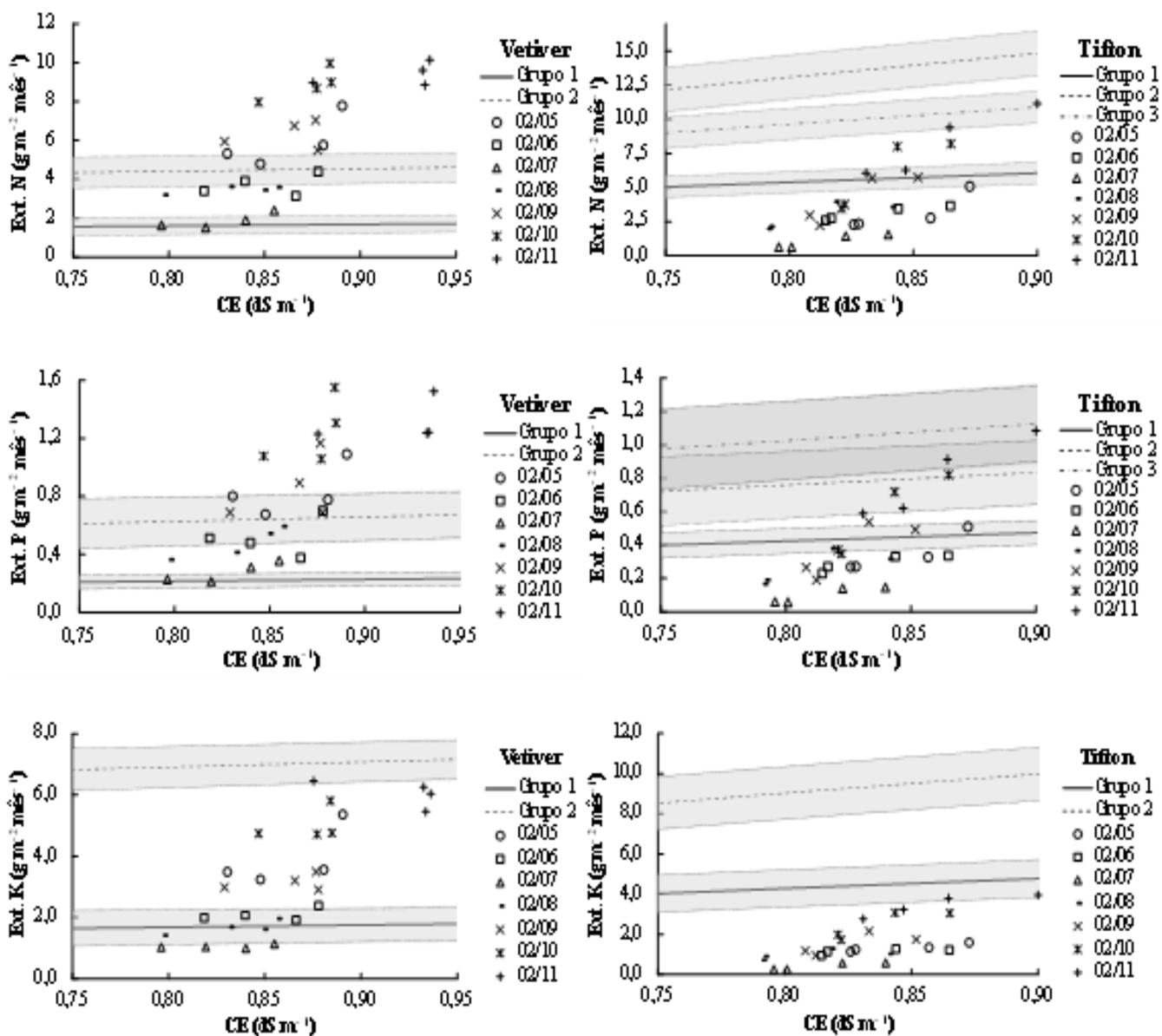


Figura 2. Valores estimados e obtidos de extração de N, P e K dos capins vetiver e tifton 85, cultivados em SACs-EHSSp, em função da CE no esgoto sanitário

Os modelos de estimativa de extração de K pela parte aérea do capim-vetiver possibilitaram estimativas satisfatórias dessa variável. O modelo do grupo 1 mostrou-se mais eficiente, pela maior proximidade dos valores obtidos no SAC-EHSSp, já o modelo do grupo 2, proporcionou pequena superestimava nos valores de extração de K. Logo, a utilização do modelo do grupo 1 poderá fornecer uma faixa de valores esperados de extração de K via parte aérea do capim-vetiver cultivado em SACs-EHSSp utilizados no tratamento de esgoto sanitário.

Em relação ao capim-tifton 85, os modelos de estimativa da extração de N, P e K superestimaram os valores reais, consequência da maior produtividade de biomassa vegetal aérea nos SACs-EHSS. Acredita-se que a menor extração de nutrientes obtida no sistema real de tratamento esteja relacionada ao baixo desenvolvimento vegetativo do capim-tifton 85, o qual pode ser decorrente da idade das plantas e dos inúmeros cortes realizados em sua parte aérea. Segundo Carr et al. (1997), a idade das plantas e o processo de aclimação ao ambiente que ocorre nas condições reais de campo, pode influenciar na produtividade e proporcionar estimativas diferentes das obtidas, quando se utilizam dados provenientes de experimentos conduzidos sob condições controladas.

Autores como Matos et al. (2008, 2009) e Fia et al. (2014) encontraram valores de extração de N e P pela parte aérea do capim-tifton 85 semelhantes aos observados nos protótipos de SACs-EHSS, por essa razão, recomenda-se a utilização dos modelos para estimativa da extração de N e P pelo capim-tifton 85, mesmo quando cultivado em SACs-EHSSp utilizados no tratamento de esgoto sanitário.

Apesar dos modelos gerados não terem sido validados de maneira satisfatória, esses podem ser considerados ferramentas essenciais para entender como as características da água residuária, a ser tratada em SACs-EHSS, podem afetar a capacidade extratora de nutrientes pelas plantas. Uma vez que, cada espécie apresenta limitada capacidade de remoção de nutrientes, resultando na estabilização ou até mesmo redução nas taxas de extração, com o aumento da carga de nutrientes (FIA et al., 2011, 2015; MENDONÇA et al., 2017).

CONCLUSÃO

1. Modelos lineares de estimativa de extração de N, P e K, em sistemas alagados construídos, foram obtidos para o capim-vetiver. Em relação ao capim-tifton 85, foram ajustados modelos quadráticos de extração de N e K, e lineares para a extração de P.

2. Os modelos de estimativa da capacidade extratora de N e P pelo capim-vetiver, subestimaram a extração obtida nos SACs-EHSSp, sendo o modelo de estimativa de extração de K, validado com sucesso. Em relação ao capim-tifton 85, os modelos superestimaram a capacidade extratora de N, P e K dos sistemas alagados construídos em escala plena.

3. Embora alguns modelos obtidos neste trabalho, não tenham sido validados de forma satisfatória, o conhecimento gerado contribui para o melhor aperfeiçoamento dos SACs-EHSS.

LITERATURA CITADA

APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Edition*. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2012. 1496p.

CARR, G. M.; DUTHIE, H. C.; TAYLOR, W. D. Models of aquatic plant productivity: a review of the factors that influence growth. *Aquatic Botany*, v. 59, n. 3-4, p. 195-215, 1997.

DREIFUS, T. V. **Tratamento de águas residuárias por alagados construídos de fluxo subsuperficial horizontal, utilizando vetiver (chrysopogon zizanoides): Avaliação e desempenho de três leitos distintos**. 2012. 84p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, SP, 2012.

FIA, F. R. L.; MATOS, A. T.; FIA, R.; BORGES, A. C.; ABREU, E. C. Influência da carga de nutrientes e da espécie cultivada na remoção de K, Na, Cu e Zn da água residuária da suinocultura tratada em sistemas alagados construídos. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 10, n. 3, p. 542-553, 2015.

- FIA, F. R. L.; MATOS, A. T.; FIA, R.; BORGES, A. C.; CECON, P. R. EFEITO DA VEGETAÇÃO EM SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS TRATANDO ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA SUINOCULTURA. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 1-9, 2017.
- FIA, F. R. L.; MATOS, A. T.; FIA, R.; LAMBERT, T. F.; PIMENTEL DE MATOS, M. Remoção de nutrientes por *Typha latifolia* e *Cynodon* spp. cultivadas em sistemas alagados construídos/Nutrients removal by *Typha latifolia* and *Cynodon* spp. grown in constructed wetlands. **Revista Ambiente & Água**, v. 6, n. 1, p. 77-89, 2011.
- FIA, R.; BOAS, R. B. V.; CAMPOS, A. T.; FIA, F. R.; SOUZA, E. G. D. Removal of nitrogen, phosphorus, copper and zinc from swine breeding waste water by bermudagrass and cattail in constructed wetland systems. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 1, p. 112-113, 2014.
- GAO, J.; WANG, W.; GUO, X.; ZHU, S.; CHEN, S.; ZHANG, R. Nutrient removal capability and growth characteristics of *Iris sibirica* in subsurface vertical flow constructed wetlands in winter. **Ecological Engineering**, v. 70, p. 351-361, 2014.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water-culture method for growing plants without soil**. Circular - California Agricultural Experiment Station, v. 347, n. 2nd edit, 1950.
- JESUS, F. L. F. **Desempenho e influência dos capins tifton 85 (*cynodon* spp.) e vetiver (*chrysopogon zizanioides*) no tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos**. 2016. 93p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.
- KADLEC, R.H.; WALLACE, S. **Treatment wetlands**. CRC press, Boca Raton, Florida, 2008. 1016p.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- MATOS, A. T. **Manual de Análise de Resíduos Sólidos e Águas Residuárias**. Viçosa: Editora UFV, 2015. 149p.
- MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; LO MONACO, P. A.; SARMENTO, A. P.; PIMENTEL DE MATOS, M. Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 12, p. 1311-1317, 2010.
- MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; PEREIRA, O. G. Desempenho agrônômico de capim tifton 85 (*cynodon* spp) cultivado em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de água residuária de laticínios. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 3, n. 1, p. 43-53, 2008.
- MATOS, A. T.; FREITAS, W. S.; LO MONACO, P. A. V. Capacidade extratora de diferentes espécies vegetais cultivadas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Revista Ambiente & Água**, v. 4, n. 2, p. 31-45, 2009.
- MENDONÇA, H. V.; MELO RIBEIRO, C. B.; NOGUEIRA, K. C. C. Remoção de matéria orgânica e nutrientes de águas residuais de laticínios em sistemas alagados construídos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 12-22, 2017.
- MUSYIMI, D. M.; NETONDO, G. W.; OWUOR, B.; GICHIMU, B. M. Growth and nutrient uptake among three wetland plant species occurring in Lake Victoria basin in Kenya. **Agriculture and biology journal of north america**, v. 1, n. 3, p. 250-264, 2010.
- UCKER, F. E.; ALMEIDA, R. A.; KEMERICH, P. D. C. Remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 7, n. 3, p. 87-98, 2012.