

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR - MG**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**  
**THIAGO CAMARGOS ARANTES**

**ADSORÇÃO DE POTÁSSIO EM DIFERENTES SUBSTRATOS**

**FORMIGA – MG**  
**2017**

THIAGO CAMARGOS ARANTES

## ADSORÇÃO DE POTÁSSIO EM DIFERENTES SUBSTRATOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do UNIFOR- MG, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

A662 Arantes, Thiago Camargos.  
Adsorção de potássio em diferentes substratos / Thiago Camargos  
Arantes. – 2017.  
51 f.

Orientador: Michael Silveira Thebaldi.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária)-  
Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2017.

1. Vermiculita. 2. Turfa. 3. Contaminação de águas subterrâneas.

I. Título.

CDD 628.128

THIAGO CAMARGOS ARANTES

ADSORÇÃO DE POTÁSSIO EM DIFERENTES SUBSTRATOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do UNIFOR- MG, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

BANCA EXAMINADORA



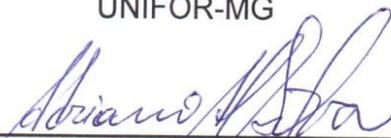
---

Professor Dr. Michael Silveira Thebaldi  
Orientador



---

Prof. Dr. Pedro Luiz Terra Lima  
UNIFOR-MG



---

Prof. Dr. Adriano Alves da Silva  
UNIFOR-MG

Formiga, 5 de dezembro de 2017.

*“O dinheiro faz homens ricos, o conhecimento faz homens sábios  
e a humildade faz grandes homens.”*

Mahatma Gandhi

## RESUMO

Os substratos são utilizados como meio de cultivo e os componentes que o formam podem ser variados, dificultando a caracterização de parâmetros físicos, químicos e nutricional destes meios. Com o intuito de aperfeiçoar o manejo produtivo, bem como minimizar as perdas no excesso da irrigação e na lixiviação de nutrientes, a classificação dos substratos e seus componentes se faz necessário. Assim, o objetivo deste trabalho foi o de analisar a adsorção de potássio em substratos com diferentes percentuais de vermiculita e turfa, realizando o experimento de adsorção de potássio em batelada em tempo de contato de um e sete dias, realizando o ajuste dos parâmetros dos modelos de sorção Linear, de Langmuir e Freundlich, verificando também, a adequação destes modelos aos dados observados. Para isso foram colocados em béqueres 10 g de substrato e 50 mL de solução de Cloreto de Potássio, em concentrações de 0, 25, 50, 75 e 100 mg/L de K. Após o período determinado, as soluções sobrenadantes dos béqueres foram filtradas, onde foi determinada a concentração de equilíbrio ( $C_e$ ) de K por meio de um fotômetro de chama e os valores de potássio adsorvidos as amostras, sendo determinados indicadores para a avaliação de desempenho do ajuste dos dados observados aos modelos de isothermas de adsorção avaliados. Observou-se que o substrato com maior percentual de turfa e aqueles que se mantiveram em contato com a solução de cloreto de potássio pelo período de sete dias obtiveram maiores valores de adsorção. Quanto aos modelos matemáticos de isothermas que melhor se ajustaram aos dados, tem-se que para o período de contato de um dia o modelo de Freundlich melhor descreveu o processo de adsorção para as amostras S1 e S2 e para o S3, foi o Linear. Já para as amostras que se mantiveram em contato com as soluções de K pelo período de sete dias, o modelo de Freundlich melhor ajustou aos dados de adsorção de S1 e S3, enquanto que o modelo de Langmuir para S2.

Palavras-chave: Vermiculita. Turfa. Contaminação de águas subterrâneas.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Substrato comercial .....	12
FIGURA 2 – Vermiculita .....	15
FIGURA 3 – Isoterma de Langmuir: adsorção em função da concentração .....	24
FIGURA 4 – Isoterma de Freundlich: adsorção como função da concentração .....	25
FIGURA 5 – Isoterma Linear .....	26

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Classificação das turfas pelo grau de decomposição .....	16
TABELA 2 – Teores disponíveis de nutrientes nos substratos utilizados no experimento .....	19
TABELA 3 – Composição dos substratos testados para produção de mudas de mamona .....	19
TABELA 4 – Composição química das fontes de matéria orgânica utilizadas na formulação dos substratos avaliados .....	20
TABELA 5 – Capacidade de troca catiônica dos três substratos estudados .....	29
TABELA 6 – Resultado da concentração de K adsorvida nos substratos, pela concentração inicial de K, no período de contato de um dia .....	32
TABELA 7 – Parâmetros das isotermas de sorção de K em substratos, para tempo de contato de um dia .....	33
TABELA 8 – Parâmetros estatísticos indicativos da qualidade do ajuste das isotermas de adsorção de K em diferentes substratos para tempo de contato de um dia .....	34
TABELA 9 – Resultado da concentração de K adsorvida nos substratos, pela concentração inicial de K, no período de contato de sete dias .....	37
TABELA 10 – Parâmetros das isotermas de sorção de K em substratos, para tempo de contato de sete dias .....	38
TABELA 11 – Parâmetros estatísticos indicativos da qualidade do ajuste das isotermas de adsorção de K em diferentes substratos para tempo de contato de sete dias .....	39

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Representação gráfica das isothermas de adsorção de potássio para o S1 para tempo de contato de um dia .....	35
GRÁFICO 2 – Representação gráfica das isothermas de adsorção de potássio para o S2 para tempo de contato de um dia .....	36
GRÁFICO 3 – Representação gráfica das isothermas de adsorção de potássio para o S3 para tempo de contato de um dia .....	37
GRÁFICO 4 – Representação gráfica das isothermas de adsorção de potássio para o S1 para tempo de contato de sete dias .....	40
GRÁFICO 5 – Representação gráfica das isothermas de adsorção de potássio para o S2 para tempo de contato de sete dias .....	41
GRÁFICO 6 – Representação gráfica das isothermas de adsorção de potássio para o S3 para tempo de contato de sete dias .....	42

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>09</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
2.1	Objetivo Geral.....	10
2.2	Objetivos Específicos .....	10
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
3.1	Substratos .....	11
3.1.1	Vermiculita .....	14
3.1.2	Turfa .....	15
3.2	Nutrientes em substratos .....	18
3.2.1	Lixiviação .....	20
3.2.2	Adsorção.....	21
3.2.3	Isotermas de adsorção .....	23
3.3	Manejo e eficiência de irrigação em viveiros.....	26
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>45</b>

## 1- INTRODUÇÃO

Os substratos são comumente usados no processo produtivo agrícola como meio de cultivo, principalmente de mudas, sendo que seu uso é favorecido pelo fato de auxiliar no processo de germinação e desenvolvimento das plantas, seja pela sua composição nutricional ou características físico químicas.

A composição do substrato pode ser bem variada, isso se explica pelo fato deste ser “um material sólido natural ou residual, de natureza mineral ou orgânica, que pode ser utilizado puro ou em misturas” (OLIVEIRA, et al., 2016, p. 15). Tal variabilidade é um fator que dificulta na determinação de suas características físicas e químicas, bem como na sua composição nutricional, não havendo assim uma classificação padrão para estes tipos de composto. Desta forma, a análise e o estudo de parâmetros que classifiquem os substratos favorecem o processo de formulação destes, propiciando uma maior facilidade de manejo produtivo, bem como determinando a solução de vários problemas na cultura.

No conceito de um conhecimento mais amplo das características de um substrato, o estudo de aspectos como lixiviação e adsorção é de grande importância, fornecendo dados a respeito da perda e disponibilidade de nutrientes. A adsorção como processo de retenção e acúmulo de íons e moléculas na superfície de um sólido, pode ser analisada por meio das isotermas de adsorção, fornecendo a quantificação dos nutrientes precipitados e a consequente disponibilidade e perda destes no meio pelo processo de lixiviação.

Sabe-se, que os atributos do substrato que mais influenciam a capacidade de adsorção são o teor e quantidade de matéria orgânica, a mineralogia dos componentes, quando for o caso, o pH, a capacidade de troca de cátions (CTC), a força iônica da solução e a superfície específica.

O processo de estudo da adsorção e a perda de nutrientes pela lixiviação é de suma importância na análise dos problemas ambientais que podem ser ocasionadas por este processo, como por exemplo, no excesso de água aplicada na irrigação em viveiros de mudas, que pode ocasionar contaminação dos lençóis freáticos e águas superficiais.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é o de analisar a adsorção de potássio em substratos com diferentes proporções de vermiculita e turfa.

## **2- OBJETIVOS**

### **2.1 - Objetivo Geral**

Analisar a adsorção de potássio em substratos com diferentes proporções de vermiculita e turfa.

### **2.2 – Objetivos Específicos**

- ✓ Realizar experimentos de adsorção de potássio em batelada nos substratos com diferentes formulações;
- ✓ Analisar o fenômeno de adsorção de potássio em substratos pelo ajuste de modelos matemáticos de isothermas de adsorção de Langmuir, Freundlich e Linear, para tempos de contato de um e sete dias;
- ✓ Determinar qual dos modelos matemáticos de isothermas de adsorção testados melhor se adéqua aos dados observados por meio do uso de parâmetros estatísticos.

### 3 - REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 - Substratos

Os substratos são materiais, artificiais ou naturais, em que as raízes das plantas se desenvolvem na ausência total ou parcial de solo, servindo como base de fixação e para o suprimento das suas necessidades de água, nutrientes e ar (BRITO; MOURÃO, 2012a). Fonsêca (2001) ainda acrescenta que substrato é todo material sólido, distinto de solo, residual, orgânico ou mineral que depositado em um recipiente, em forma pura ou em mistura, possibilita a fixação do sistema radicular, desempenhando papel de suporte para a planta.

Cabe então ao substrato em sua fase sólida, garantir estabilidade a planta pela manutenção mecânica do sistema radicular, de servir de suprimento de nutrientes e água em sua fase líquida, e de na sua fase gasosa possibilitar o transporte de dióxido de carbono entre o ar externo e as raízes, além suprir o oxigênio necessário (MENEZES JUNIOR et al., 2000).

As definições apresentadas classificam o substrato como um aporte para as plantas, em substituição ao solo, e, o que difere ambos, é que os substratos proporcionam condições mais favoráveis para o desenvolvimento vegetal, favorecendo um ambiente radicular mais “refinado”, enquanto o solo apresenta valores estáticos em seu potencial produtivo (MENEZES JUNIOR et al., 2000).

Dados os conceitos de substrato deve-se ter a ideia de que para que este, de fato, seja suporte para o desenvolvimento de uma planta, deve ser isento de fitopatogênos (FONSÊCA, 2001), e possuir propriedades físicas, químicas e biológicas adequadas para cada espécie e recipiente onde será germinado, como cita Brito e Mourão (2012a, p.32):

As propriedades dos substratos que influenciam a germinação das sementes, e o crescimento das plantas germinadas, podem dividir-se em propriedades físicas (capacidade de retenção de água, porosidade, plasticidade, densidade aparente, etc.), propriedades químicas (fertilidade, reação, poder tampão, etc.) e propriedades biológicas.

Ainda segundo os mesmos autores, existem vários tipos de substratos de acordo com as exigências da cultura de plantio e o recipiente utilizado, em que deva ser escolhido o que melhor atenda as necessidades de plantio e proporcione melhor qualidade de formação da planta cultivada.

A FIG. 1 apresenta um substrato comercial que possui como composição usual terra preta e matéria orgânica “curtida” incorporada (madeira, restos de folhas, pó de xaxim, serragem) (PASTORE, 2011).

Figura 1 – Substrato comercial



Fonte: PASTORE, 2011

Nas propriedades físicas, um bom substrato deve possuir uma boa capacidade de aeração que permita com que o oxigênio seja transportado pelas raízes, boa capacidade de retenção de água, baixa densidade, e porosidade que possibilite que o sistema radicular da planta se desenvolva (LACERDA, 2006).

As propriedades físicas são consideradas as mais importantes, pois as relações entre a água e o ar não podem sofrer mudanças durante o cultivo. Já às propriedades químicas podem ser modificadas a partir da aplicação da irrigação e fertirrigação (KRATZ et al. 2013). Os parâmetros químicos de um substrato são geralmente caracterizados pelo pH, a salinidade, a condutividade elétrica e o teor de nutrientes (SCHAFER; SOUZA; FIOR, 2015).

De acordo com Brito e Mourão (2012a), a variação de pH interfere diretamente na disponibilidade de nutrientes no substrato, em que o valor de pH baixo pode contribuir com o excesso de micronutrientes na solução do substrato, elevando os riscos de fitotoxicidade enquanto que, um valor de pH altamente alcalino no solo pode causar a precipitação dos micronutrientes, tornando-os indisponíveis para as plantas, podendo causar deficiência de micronutrientes ou macronutrientes. O valor de pH que melhor favorece o crescimento da maioria das

culturas é entre 5,4 e 6,4.

A salinidade expressa à presença e quantidade de sais em uma solução de substrato pela condutividade elétrica (CE) gerada na concentração de íons dissolvidos. Altos níveis de salinidade conferem ao solo alta CE, aumentando o potencial osmótico, prejudicando a absorção de nutrientes e água, danificando as raízes e os pelos radiculares, e favorecendo a ação de alguns patógenos. Valores de CE acima de  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$  são considerados excessivos para a maioria das plantas, enquanto valores de salinidade abaixo de  $1,0 \text{ g L}^{-1}$  são o desejado (KRATZ, 2011).

O nível da CE em um substrato ou solo esta diretamente ligada ao teor de água e de sais dissolvidos. Segundo Castro (2004) a resistência a condutividade elétrica aumenta conforme o solo seca, isso se deve ao fato de que os sais presentes precisam ser ionizados em soluções para poder conduzir eletricidade. Assim, a resistência aumenta se os espaços porosos forem drenados e as camadas de água envolvente das partículas do solo se tornem mais finas.

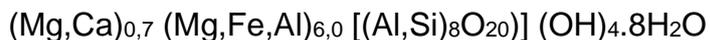
Outro parâmetro químico importante de ser analisado em um substrato é a capacidade de troca de cátion (CTC), que esta diretamente ligada à disponibilidade de nutrientes para as plantas e fertilidade do substrato. A CTC é basicamente a propriedade que as partículas sólidas, dos substratos ou solos, têm de trocar e adsorver cátions. Os substratos possuem maior quantidade de pontos de trocas, por suas partículas serem menores, com maior superfície específica e também por possuírem grande quantidade de matéria orgânica humificada de alta CTC. Considera-se daí que o substrato é favorecido por suas características e pelo fato de muitos dos seus cátions serem nutrientes (FAVALESSA, 2011).

No que se refere as características biológicas, deve-se considerar que estas também podem estar presente na matéria prima e nos substratos orgânicos. Alguns microrganismos podem auxiliar no combate a agentes patogênicos, através da produção de antibióticos, biocidas ou enzimas, podem auxiliar também pela competição (por oxigênio ou por nutrientes) (BRITO; MOURÃO, 2012a).

Os componentes que formam um substrato podem ser vegetal (bagaços, tortas, xaxim, pó de coco, serragem, turfa), animal (húmus, esterco), mineral (areia, vermiculita), e artificial (isopor, espuma fenólica). As características que favorecem um substrato são: fácil disponibilidade, custo acessível, boa capacidade de troca de cátions, alto teor de nutrientes, ausência de patogênicos, boa aeração e retenção de umidade (PRESTES, 2007).

### 3.1.1 - Vermiculita

Semelhantes à mica em aparência, as vermiculitas são silicatos de alumínio, ferro e magnésio, de aparência escamada ou achatada e perfeita clivagem basal a proeminente; suas lamelas de clivagem são flexíveis, elásticas ou plásticas, mas raramente quebradiças, pertencendo ao grupo de minerais laminares hidratados e filossilicatos. Seu processo de origem pode ser magmáticos, metamórficos, intempéricos, hidrotermais e diagenéticos. De um modo geral, apresentam densidade relativa baixa e dureza entre 1,5 a 2 na escala mohs (FRANÇA et al., 2016). A fórmula química geral da vermiculita é: (UNESP, 2016):



A composição química geral de uma vermiculita, em termos de óxidos, é 12,8% FeO, 14,4% MgO, 11,9% SiO<sub>2</sub>, 43,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 17,9% H<sub>2</sub>O; sendo comum a substituição do cálcio por potássio ou sódio em alguns minerais. A rocha encaixante e outras impurezas minerais são removidas do minério com auxílio das operações de cominuição e classificação por tamanhos, no seu beneficiamento (FRANÇA et al., 2016).

As propriedades de superfície da vermiculita, somadas a carga superficial negativa, a porosidade, e os valores da área de superficial específica elevados, fazem da vermiculita um material próprio para o uso como carreador ou adsorvente, tendo uma capacidade de troca iônica (CTC) estimada em valores na faixa de 100 a 130 meq/100g (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008).

Outras características da vermiculita (FIG. 2) são de densidade muito baixa (< 120 g L<sup>-1</sup>) e grande porosidade, apresenta também grande capacidade de absorção de água, cinco vezes maior que o seu próprio peso, mesmo sendo insolúvel em água. Tem a capacidade de absorver uma grande quantidade de nutrientes, isso devido ao seu pH neutro pouco alcalino (6,3 – 7,8) e a CTC elevada. A sua aplicação em um substrato varia quanto a sua granulometria, em que a granulometria mais grosseira é recomendada para crescimento de planta e as granulometrias média e fina para o processo de germinação (BRITO; MOURÃO, 2012b).

Figura 2 – Vermiculita



Fonte: BRITO; MOURÃO, 2012b, p.66

As vantagens do seu uso nos compostos de substratos se da por ela proporcionar melhorias das condições físicas, ser insolúvel, possuir boa capacidade de retenção de água e alto poder tampão. Nas condições químicas, a vermiculita favorece o substrato liberando íons de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) para a solução e adsorvendo nitrogênio amoniacal e fósforo (MARTIN, et al, 2006).

### 3.1.2 – Turfa

A turfa é uma substância fóssil, originada da mistura de material mineral e material formado na decomposição de materiais vegetais, líquens e musgos, em condições de alta umidade, no fundo de lagoas e depressões alagadas, o que classifica a turfa como um material organo-mineral (FRANCHI, 2000).

De acordo com Franchi (2000) a coloração da turfa é um indicador do processo de decomposição que a formou, bem como seu aspecto estrutural, em que a turfa com aparência de uma pasta gelatinosa preta indica alto grau de decomposição, em que sua formação tenha se dado normalmente nas camadas mais profundas das jazidas; enquanto as turfás de aparência fibrosa, de coloração marrom clara, tenham sido formadas nos estratos mais superficiais e se derivem de musgos.

De uma forma mais sistêmica as turfas são classificadas por vários métodos, sendo o mais usual o desenvolvido por Von Post (1924), que procura ressaltar, basicamente, seu grau de decomposição. Esta classificação é feita usando uma escala visual de 10 pontos, após um teste de campo expedito de *squeezing*. “Este teste consiste em espremer-se à mão uma amostra fresca e molhada e observar-se o aspecto do material que flui entre os dedos e daquele que fica retido” (FERNANDES, 2007, p.14), como mostrado na TAB. 1.

Tabela 1 – Classificação das turfas pelo grau de decomposição (Von Post, 1924)

Grau de humificação	Características	Cor da água que flui entre os dedos	Fração da turfa que flui entre os dedos	Resta na mão	
				Forma	Estrutura vegetal
H1	sem decomposição	Incolor			
H2	muito pouco decomposta	ligeiramente castanha	não passam sólidos entre os dedos	não tem aspecto gelatinoso	estrutura vegetal nitidamente reconhecível
H3	fracamente decomposta	castanha fraca			
H4	fracamente decomposta	muito castanha			
H5	decomposta		poucos sólidos	apresenta aspecto gelatinoso	poucos restos vegetais reconhecível
H6	bem decomposta		passa 1/3 do volume		
H7	fortemente decomposta		passa metade do volume	ficam na mão resíduos de fibras, raízes, etc	restos vegetais muito pouco reconhecível
H8	muito fortemente decomposta	líquido bem escuro	passa 3/5 do volume		
H9	quase integralmente decomposta		passa quase tudo		
H10	completamente decomposta		flui integralmente	sobra muito pouco ou quase nada nas mãos	

Fonte: FERNANDES, 2007, p.14

Segundo Fernandes (2007, p. 15), a classificação e a caracterização das turfas podem ser dadas pelo seu grau de decomposição de Von Post (1924),

associadas ao sistema da Sociedade Internacional de Turfa (IPS, *International Peat Society*), em que:

- Turfa fibrosa ou leve (H1 a H3) – de cor geralmente marrom avermelhada, porção orgânica com mais de 2/3 de fibras vegetais reconhecíveis e restante decomposto além do reconhecimento. É usada principalmente para horticultura e agricultura. É normalmente encontrada em camadas mais superficiais das turfeiras, em ambientes ácidos, geralmente derivada de musgos.
- Turfa decomposta ou escura (H4 a H7) – com tonalidade entre marrom e preto, com 1/3 a 2/3 de fibras reconhecíveis, em um grau de decomposição intermediário. Sua formação derivasse de gramas, plantas rasteiras, plantas aquáticas e arbustos. É comumente usada com fins energéticos e ainda podendo ser utilizada na agricultura.
- Turfa sáprica ou preta (H8 a H10) – de cor bastante escura e elevado grau de decomposição, contem 1/3 das fibras reconhecíveis e geralmente sua forma é gelatinosa. Suas principais utilizações se da pelo uso energético e recuperação de áreas degradadas. É resultado do processo de sedimentação de material orgânico morto de plantas aquáticas e algas (sapropelito) em fundos de lagos rasos.

Analisando as turfás no ponto de vista físico-químico, tem-se que estas são altamente polares, porosas, com uma alta capacidade de adsorção para moléculas orgânicas e metais de transição. O alto teor de substâncias húmicas (ácidos húmicos e fúlvicos), presentes na matéria orgânica das turfás, dão as estas uma forte atração pela maioria dos cátions metálicos em solução, isso se deve ao fato destes polímeros naturais serem ricos em grupos funcionais com cargas negativas, tais como ácidos carboxílicos e hidroxilas fenólicas e alcoólicas, que são justamente os sítios de adsorção dos metais em solução (PETRONI; PIRES; MUNITA, 1999, p. 477).

A composição básica elementar das turfás varia com a natureza da vegetação que a formou, bem como com as circunstâncias desta formação. Neste contexto, as proporções químicas de Carbono, Hidrogênio e Oxigênio variam em percentuais de 50-60% de C e 5-6% de H, aumentando de acordo com o grau de decomposição; e

de 30-40% de O, diminuindo quanto maior o grau de decomposição (BEZERRA, 2014).

Segundo o mesmo autor, no que se refere a estrutura das turfas, tem-se que são complexas, constituídas principalmente por betumes (ácidos graxos, ceras e esteróides), substâncias húmicas, carboidratos (celulose e proteínas) e ligninas (substâncias polifenólicas). A lignina e celulosa são os constituintes mais presentes, já as substâncias húmicas, como produto da decomposição da matéria orgânica, varia de acordo com o processo de decomposição.

Um dos principais usos da turfa atualmente são na agricultura como insumo para produção de condicionadores de solos, substratos de mudas e biofertilizantes. A principal característica que favorece seu uso como substrato é a alta capacidade de retenção de água, em que deva ser mantida sempre úmida por também ter a capacidade de contrair-se excessivamente quando seca (CASTRO, 2006).

### **3.2 - Nutrientes em substratos**

Os substratos têm como função dar suporte para as plantas, tanto no aspecto estrutural como nutricional, possibilitando com que o sistema radicular desta planta se desenvolva e sejam fornecidos suprimentos de água e nutrientes (CAVALCANTE, 2007). Como condição, um bom substrato deve possuir nutrientes essenciais necessários ao cultivo, bem como estes devem estar disponíveis para a absorção da planta, dependendo da forma química em que se encontram e de características como pH, CTC e CE presentes (ZORZETO, 2011).

Os nutrientes são essenciais para todo o ser vivo, não sendo diferente para as plantas, que necessitam de água e de diferentes moléculas orgânicas para sua sobrevivência. Juntamente aos elementos que compõe a água (H<sub>2</sub>O) e qualquer molécula orgânica (C, O, H), mais seis são exigidos e absorvidos em quantidades superiores aos demais: potássio (K), nitrogênio (N), enxofre (S), fósforo (P), magnésio (Mg) e cálcio (Ca), formando os chamados macronutrientes. Já os micronutrientes: manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B), cloro (Cl) e molibdênio (Mo); são também de importância, mas com exigências e absorção em quantidades inferiores (Mendes, 2005).

A formulação de um substrato pode variar de infinitas formas, pelos mais variados tipos e percentuais de materiais componentes, podendo ser de origem

orgânica, mineral, natural ou sintética, não existindo um material ou mistura considerado universal em sua constituição (SCHMITZ; SOUZA; KÄMPF, 2002). Tal constatação define que os nutrientes presentes em um substrato irão variar de acordo com a composição dos elementos que o formam.

Neste sentido, Carneiro et al. (2010), em um estudo com a finalidade de avaliar a influência de substratos alternativos na cultura de alface, fez análises de cinco tipos de substratos, observando as características químicas presentes. Os substratos usados foram quatro de formulações próprias e um substrato comercial. As composições destes substratos foram: T01 - solo esterilizado, vermiculita fina, húmus de minhoca (2:1:1) ; T02 - solo esterilizado, vermiculita fina, esterco bovino (2:1:1); T03 - solo esterilizado, fibra de coco, esterco bovino (2:1:1); T04 - solo esterilizado, carvão vegetal, composto de esterco bovino (2:1:1); e T05 - Plantmax® HA (substrato comercial).

A TAB. 2 apresenta o resultado dos teores de alguns nutrientes presentes nestes substratos.

Tabela 2 – Teores disponíveis de nutrientes nos substratos utilizados no experimento

Substratos	P	K	Cu	Fe	Zn	Mn	Ca	Mg
	mg.dm <sup>-3</sup>						cmol.dm <sup>-3</sup>	
T01	105,09	1.067,43	3,95	91,01	16,77	137,80	5,20	8,03
T02	67,76	1.243,38	3,51	117,86	10,46	140,68	7,70	2,89
T03	56,84	1.290,30	6,08	178,36	9,91	124,09	4,46	4,37
T04	105,09	617,78	2,35	74,05	18,99	137,35	8,96	3,70
T05	102,19	488,75	0,71	186,36	2,24	57,96	12,32	9,04

Fonte: Adaptado de CARNEIRO et al., 2010

Outro estudo, realizado por Lima et al. (2006), analisa o teor de nutrientes dos materiais orgânicos que compõem as diferentes misturas de substratos propostos, com fins de produção de mudas de mamoneira. A composição dos substratos testados é apresentada na TAB. 3.

Tabela 3 – Composição dos substratos testados para produção de mudas de

## mamona

Composição	
Substrato 1	Solo + esterco bovino + casca de amendoim
Substrato 2	Solo + esterco bovino + mucilagem de sisal
Substrato 3	Solo + esterco bovino + bagaço de cana
Substrato 4	Solo + esterco bovino + cama de frango
Substrato 5	Solo + casca de amendoim + mucilagem de sisal
Substrato 6	Solo + casca de amendoim + bagaço de cana
Substrato 7	Solo + casca de amendoim + cama de frango
Substrato 8	Solo + mucilagem de sisal + bagaço de cana
Substrato 9	Solo + mucilagem de sisal + cama de frango
Substrato 10	Solo + bagaço de cana + cama de frango
Substrato 11	Solo + casca de amendoim + cama de frango + mucilagem de sisal
Substrato 12	Solo

Fonte: LIMA et al. (2006, p. 476)

Já a TAB. 4 identifica a composição química das fontes de matéria orgânica utilizadas no mesmo estudo.

Tabela 4 - Composição química das fontes de matéria orgânica utilizadas na formulação dos substratos avaliados

Material	N	P	K	Ca	Mg
	----- % -----			-----	
Bagaço de cana	0,24	0,20	0,11	0,39	0,45
Casca de amendoim	1,54	0,36	0,79	0,46	0,21
Esterco bovino	0,78	0,87	0,33	0,31	0,18
Mucilagem de sisal	0,12	0,01	0,10	0,40	0,24
Cama de frango	2,95	3,97	1,10	4,71	6,93

Fonte: Adaptado de LIMA et al. (2006, p. 476)

Tais estudos comprovam a variância dos teores de nutrientes, em que para se avaliar os valores devem ser feitas as devidas análises, podem ser discriminadas os valores individuais dos compostos, bem como da própria mistura. Ainda, segundo NOMURA et al. (2009), adicionalmente ao uso do substrato, podem ser feitas adubações suplementares com o intuito de proporcionar melhor desenvolvimento e crescimento das mudas.

### 3.2.1 – Lixiviação

A lixiviação é um processo que consiste no transporte de sais solúveis no fluxo descendente da água pelo perfil do solo, diminuindo a quantidade de nutrientes disponíveis as plantas. É influenciada por fatores como: deposições atmosféricas; sistema de fertilização (método de aplicação, quantidade, tipo e parcelamento);

condições climáticas (regime pluviométrico e temperatura); composição da serapilheira; e características do solo como pH, condutividade hidráulica, textura, entre outros (SILVA, 2011).

No solo, o processo de lixiviação determina a perda de nutrientes para camadas mais profundas do solo, tornando-os indisponíveis para a absorção das plantas, prejudicando os processos de cultivo. Neste caso, o principal fator responsável pela lixiviação e a consequente perda de nutrientes é o volume de água que percola pelo solo, seja pelo processo natural de pluviosidade ou por processos de irrigações excessivas (SILVA, 2013).

Ainda de acordo com o mesmo autor, a lixiviação pode variar de acordo com a característica do meio em que ocorrerá, sendo estas físicas ou químicas. As principais características físicas são a estrutura, a textura, profundidade do perfil e, principalmente, a porosidade. Já as principais características químicas são a CTC, em que quando esta apresenta valores elevados a capacidade de adsorção de cátions é maior, consequentemente o processo de lixiviação será menos susceptível; e o pH, que influi diretamente na CTC do solo, que quando o pH se eleva a CTC do meio também se eleva, acontecendo uma maior adsorção e menor lixiviação dos íons (SILVA, 2013).

No que se refere ao processo de lixiviação em substratos, Conceição et al. (2015) descreve que este meio apresenta alta lixiviação, acrescentando que o cultivo em substrato demanda aplicação periódica de nutrientes devido a este processo de lixiviação e por este meio apresentar volume limitado, visando satisfazer as exigências nutricionais, favorecendo o desenvolvimento da cultura.

Stamato Junior (2007) acrescenta ainda, que o principal fator que influi na alta taxa de lixiviação em substratos é a alta frequência de irrigação, o que dificulta a manutenção dos níveis adequados de nutrientes, sendo necessárias fertilizações complementares.

### **3.2.2 – Adsorção**

Adsorção é quando uma dada substância ou elemento são transferidos e acumulados, por meio de um campo de interação, de uma fase fluída para superfície de uma fase sólida (MELLIS, 2006). A substância que se acumula na interface da

superfície sólida é geralmente denominada como adsorvato e a superfície sólida na qual o adsorvato se acumula é denominada adsorvente (FREITAS et al., 2010).

A adsorção acontece influenciada pelas características do meio em que ela ocorre (condições operacionais) e dos elementos que ali interagem (adsorvatos e adsorvente); sendo principalmente, consequência do desequilíbrio de forças na superfície do adsorvente. Segundo Moreira (2008), as principais características dos adsorvatos incluem: tamanho da molécula, polaridade, solubilidade e basicidade ou acidez. Já as principais características do adsorvente são: densidade, área superficial, tamanho do poro, hidrofobicidade do material e grupos funcionais presentes na superfície. Já as condições operacionais são caracterizadas pelo o pH, natureza do solvente e a temperatura.

As forças atrativas ou sítios atrativos são o principal responsável pela atração dos adsorvatos para zona interfacial do adsorvente, estas forças são denominadas forças de Van der Waals e forças de interação eletrostática. A adsorção pode ocorrer também como consequência de ligações químicas, em que as substâncias adsorvidas reage por meio de valências livres. Em ambas as situações, os sítios ativos da superfície do adsorvente são cobertos pelo adsorvato, sendo a eficiência da adsorção determinada pela afinidade dos sítios ativos e pelo solvente (MONTEIRO, 2009).

O processo de atração gerado pelo campo de força resultante criado ao redor da superfície do adsorvente tem a capacidade de reter as moléculas do fluido por certo tempo, este é definido por tempo de retenção. O tempo de retenção da partícula é determinado pela energia de adsorção, ou seja, pela força em que a molécula é retida em relação a outras moléculas em um campo de força (SHWANKE, 2003).

A capacidade de retenção no adsorvente é determinada quando o processo de adsorção atinge o equilíbrio. O equilíbrio é alcançado no momento em que a concentração do soluto na fase líquida, onde as moléculas ou íons fluem, permanece constante (NASCIMENTO, 2014).

A avaliação de adsorção de nutrientes em substratos é uma das reações químicas que ainda necessitam de maiores pesquisas, que forneça maiores e melhores informações do comportamento destes no substrato. Tem-se que o parâmetro pH influi diretamente a dinâmica dos nutrientes no substrato, em que em

substratos com o pH acima de seis a adsorção é favorecida, principalmente para alguns micronutrientes (MENEZES, 2007).

Menezes (2007), no intuito de analisar a adsorção de nutrientes em substratos, avaliou a adsorção de Mn, Fe, Zn e Cu, em substratos a base de pó de coco e vermiculita em comparação a Latossolo Vermelho Amarelo, em que o valor de pH (4,0) era o mesmo para os meios; sendo os resultados:

Para o Cu : pó de coco >> solo > vermiculita;

Para o Zn: vermiculita > pó de coco > Latossolo;

Para o Mn: pó de coco > solo > vermiculita; e

Para o Fe: pó de coco > vermiculita > solo.

O estudo em questão apresenta que a capacidade de adsorção dos micronutrientes no substrato a base de pó de coco foi maior em relação à vermiculita e o latossolo, no entanto, corrobora a afirmação do autor da necessidade de maior entendimento da dinâmica de adsorção em substrato, sendo esta dificultada pela diversidade de componentes que podem fazer parte da mistura deste.

### **3.2.3 - Isotermas de adsorção**

Isotermas são curvas que descrevem a dependência do adsorvato, concentrado na superfície do adsorvente, em função da quantidade restante em solução na condição de equilíbrio. A construção de isotermas de adsorção é uma forma usual e prática de se quantificar a adsorção (PETRONI, 2004).

Ainda segundo Alleoni, Camargo e Casagrande (1998), as isotermas são equações matemáticas que são usadas para descrever, em termos quantitativos, o processo de adsorção de adsorvatos por uma superfície adsorvente do solo. A equação de Langmuir, a equação de Freundlich e equação Linear são os três modelos matemáticos mais usados para a análise dos fenômenos de adsorção de íons em solos e componentes.

A equação de Langmuir inicialmente era utilizada para estudar a adsorção de gases em superfícies sólidas, posteriormente aplicada para descrever a adsorção de metais pesados nas partículas do solo (LOPES, 2009). A equação de Langmuir é representada pela Equação 1 (TEIXEIRA et al., 2017).

$$S = \frac{K_L \times C_e \times b}{1 + K_L \times C_e} \quad (1)$$

Em que:

S = quantidade do elemento adsorvido (mg/kg);

$K_L$  = constante relacionada à energia de ligação soluto - superfície adsorvente (cm/mg);

$C_e$  = concentração de equilíbrio (mg/L);

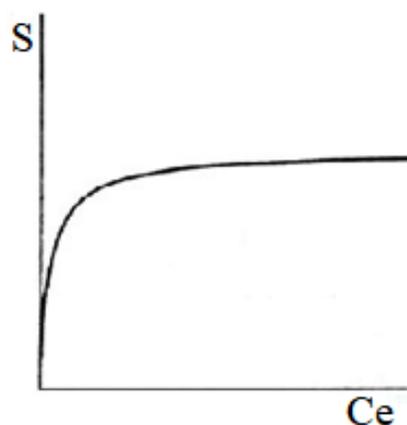
b = quantidade máxima de soluto que pode ser adsorvida (mg/kg) .

O modelo de Langmuir se baseia em três pontos principais (MOREIRA, 2004):

- a adsorção independe da cobertura da superfície e é constante, sendo ela homogênea;
- o processo de adsorção ocorre em sítios específicos, não havendo interação com as moléculas do soluto; e
- quando toda a superfície do adsorvente é coberta, a adsorção torna-se máxima.

Nicochelli (2011) cita que no modelo de Langmuir tem-se que o aumento da adsorção é linear conforme o aumento da concentração de soluto, aproximando-se de uma constante devido aos sítios de sorção apresentar números limitados, conforme o modelo gráfico da Isoterma Langmuir mostrada na FIG. 3.

Figura 3 - Isoterma de Langmuir: adsorção em função da concentração



Fonte: Adaptado de NICOHELLI , 2011

Outro modelo também muito utilizado é a Isoterma de Freundlich, que descreve a adsorção de substâncias, íons ou moléculas nas superfícies dos adsorventes do solo (argilominerais, óxidos, matéria orgânica). Neste modelo, conforme a superfície se torna coberta por soluto, a energia de adsorção decresce, diferenciando da equação de Langmuir. O modelo de isotermas de Freundlich é apresentado na Equação 2 (LOPES, 2009).

$$S = K_F \times C_e^{1/n} \quad (2)$$

Em que:

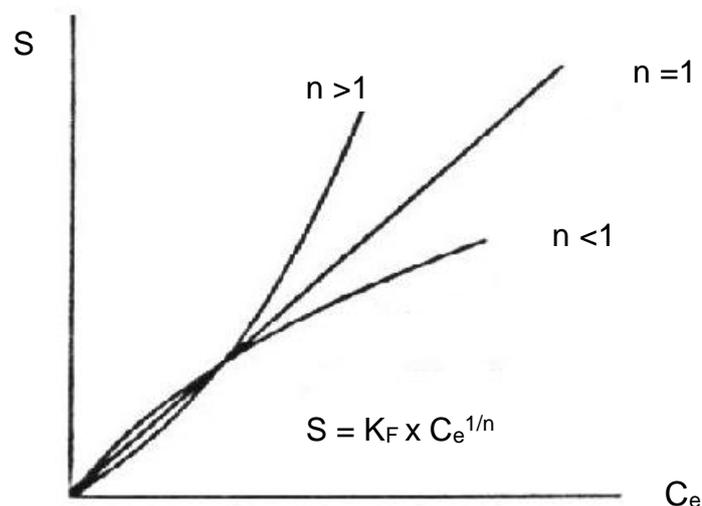
S = quantidade do elemento adsorvido (mg/kg);

$K_F$  e  $n$  = constantes empíricas do modelo de Freundlich (adimensionais);

$C_e$  = concentração de equilíbrio (mg/L).

A isoterma de Freundlich é um modelo alternativo empírico, que pode fornecer uma melhor descrição quantitativa da adsorção. Vale ressaltar, que este modelo supõe que adsorção será ilimitada quando  $n > 1$ , ou seja, a quantidade de sítios de adsorção for consideravelmente maior em relação ao número de íons e moléculas de soluto, não estando o solo saturado atingindo sua capacidade de retenção. A FIG. 4 demonstra o modelo gráfico da isoterma de Freundlich, apresentando a relação da adsorção com a concentração dos elementos na solução por  $n$  (NICOCHELLI, 2011).

Figura 4 – Isoterma de Freundlich: adsorção como função da concentração



Fonte: Adaptado de NICOCELLI , 2011

Já a isoterma Linear representa a relação direta e linear entre  $S$  e  $C_e$ , prevendo a sorção de soluto em concentrações infinitamente crescentes, desta forma, visto que o material normalmente possui capacidade limitada de sorção, este modelo apresenta-se restrito. A isoterma linear é representada pela Equação 3 (GODOY, 2013).

$$S = K_d \times C_e \quad (3)$$

Em que:

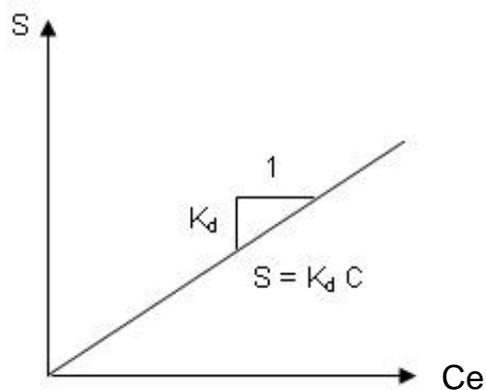
$S$  - quantidade de massa de soluto adsorvido (mg/kg);

$C_e$  - concentração de equilíbrio da solução (mg/L);

$K_d$  - coeficiente de distribuição (L/kg).

Na isoterma Linear o processo de sorção é modelado como linear (FIG. 5) e reversível, representando a relação mais simples entre a concentração na fase líquida e a concentração na fase sólida. Nesse caso, a massa de soluto adsorvida por massa de solo é proporcional à concentração de equilíbrio do soluto na solução e a inclinação da reta ajustada corresponde ao coeficiente de distribuição constante ( $K_d$ ) (NICOCELLI, 2011).

Figura 5 – Isoterma Linear



Fonte: Adaptado de NICOCELLI , 2011

### 3.3 - Manejo e eficiência de irrigação em viveiros

Uma alternativa para produção de mudas de alta qualidade é a produção por meio de viveiros florestais. Este espaço limitado apresenta características favoráveis a produção por reunir técnicas, insumos e equipamentos apropriados. Entre as técnicas que favoreçam a produção em viveiros, a irrigação se destaca por proporcionar produção em diferentes épocas do ano, possibilitando um manejo que disponibilize água em quantidade e momento adequado, otimizando o processo de cultivo (THEBALDI et al., 2014).

O manejo da irrigação em recipientes pequenos, ao contrário dos cultivos em solo, deve observar algumas peculiaridades, como a maior frequência de irrigação, devido ao volume reduzido do substrato disponível para a planta e os movimentos de advecção de nutrientes do substrato (GEVARSIO, 2003).

Esse processo de irrigação deverá seguir um manejo apropriado tendo-se uma maior frequência de irrigação, porém evitando que ela seja excessiva, prejudicando o processo produtivo das mudas. Segundo Thebaldi (2011) o excesso na irrigação acarretará uma série de desvantagens no cultivo, como: lixiviação de nutrientes e defensivos agrícolas solúveis, consumo desnecessário de água, possibilidade do surgimento de doenças e redução da aeração.

Uma maior sistematização no manejo da irrigação, que vá além da observação empírica, é apresentada por Stamato Júnior (2007) por meio de um método de monitoramento e manejo, estabelecendo um Programa de Irrigação que determine a quantidade que será irrigada e quando ocorrerá. Neste contexto, uma forma simples de monitoramento seria pelo método do peso específico ou referência. Este método consiste em determinar o peso de referência máximo em um processo de cultivo, checando o peso do recipiente com substrato e planta na capacidade máxima de retenção de água, comparando com o peso da cultura antes da irrigação. Com os dados levantados tem-se a quantidade necessária para se alcançar a capacidade máxima de retenção de água no meio, em que essa deverá ser mantida por meio do manejo da irrigação. Como vantagem também, este método proporciona o conhecimento do consumo de água pela cultura ao longo do dia.

Em relação aos métodos de irrigação os mais usualmente utilizados são: irrigação manual, aspersão sobre copa e gotejamento. A irrigação manual e aspersão sobre copa apresentam características desfavoráveis no aspecto do

molhamento da parte aérea das plantas, o que possibilita o desenvolvimento de doenças e o conseqüente desperdício de água. O gotejamento é um método de maior eficiência no uso da água, possuindo, porém, um custo maior de implantação, operação e manutenção (SALVADOR, 2010). Benicio et al. (2009), destaca que o fato do método de gotejamento necessitar de uma maior manutenção e operação se deve, principalmente, pela facilidade em que os emissores de menor diâmetro tem de se obstruírem, afetando a uniformidade da distribuição de água e a produção.

Salvador (2010) ainda cita o método de irrigação por ascensão capilar, também conhecido como subirrigação, como um método em potencial de aplicação na produção de mudas, tendo como vantagem o umedecimento somente do substrato, reduzindo a incidência de doenças na parte aérea da planta, bem como proporcionando o menor consumo de água, agroquímicos e energia elétrica.

A escolha do método de irrigação deve ser feita analisando aquele que melhor se adapte a cada situação em particular, existindo vantagens e limitações no uso de cada um deles. Para escolha do método adequado de irrigação para determinado cultivo, alguns critérios devem ser observados, como disponibilidade de água, tipo de substrato que será usado, clima, cultura que será plantada, energia e mão de obra despendida. A implantação deve envolver: planejamento, projeto, instalação, operação, manutenção e o manejo (PIRES et al., 2008).

A atividade agricultura é dada com uma das principais atividades consumidoras de água doce do planeta, devido, principalmente, a irrigação e a ineficiência na sua aplicação. Assim sendo, tornarem os sistemas de irrigação mais eficiente, adequando o consumo de água em ambientes protegidos, buscando o desenvolvimento de novas técnicas, que permita determinar o melhor momento de se irrigar e a quantidade correta de água que será aplicada, torna a atividade agrícola mais sustentável no ponto de vista ambiental, social e econômico (MELO JUNIOR, GERVÁSIO, ARMINDO, 2013).

#### 4- MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado Centro de Análises de Águas e Resíduos (CENAR) do Centro Universitário de Formiga (UNIFOR-MG). O substrato utilizado foi formulado a base de turfa e vermiculita em proporções de 75% turfa e 25% de vermiculita (S1); 50% vermiculita e 50% turfa (S2); e 25% turfa e 75% vermiculita (S3).

Com os substratos já formulados para diferentes percentuais de turfa e vermiculita, amostras foram encaminhadas ao Instituto Agronômico de Campinas – IAC, onde foi avaliada a capacidade de troca catiônica (CTC) dos três substratos, como apresentado na TAB. 5.

Tabela 5 – Capacidade de troca catiônica dos três substratos estudados

Amostras	CTC <sup>1</sup> mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	CTC <sup>1</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
S1	997,332	242,6
S2	832,908	183,7
S3	638,352	123,1

<sup>1</sup> Método descrito na IN 17 (BRASIL, 2007).

Fonte: Laboratório Instituto Agronômico de Campinas – IAC

Com os substratos formulados nas diferentes proporções, foram preenchidas duas colunas de PVC com os três tipos de substratos, posteriormente, com o auxílio de frascos de Mariotte, foram percolados com água deionizada a fim de realizar sua lixiviação.

A completa lixiviação foi obtida quando se atestou que os efluentes das colunas possuíam condutividade elétrica zero. Ao fim deste processo, o material foi deixado secando ao ambiente, em um período de três dias.

Para a obtenção das isotermas foram colocadas em béqueres 5 g de substrato e 75 mL de solução de Cloreto de Potássio, sendo utilizadas as concentrações de 0, 25, 50, 75 e 100 mg/L de K. A homogeneização do conjunto substrato/solução foi realizada manualmente com o auxílio de uma baqueta e os béqueres colocados em uma B.O.D. à 20 °C por um período de 1 e 7 dias

Após os períodos de sorção, as soluções sobrenadantes dos béqueres foram filtradas para então, realizar a determinação da concentração de equilíbrio de potássio nestas. As concentrações de K adsorvidas foram verificadas a partir do uso de Fotômetro de Chama modelo 910M da Analyser.

Após obtenção das concentrações de equilíbrio dos sobrenadantes, a concentração de Cloreto de Potássio de cada uma delas foi corrigida para concentração de potássio, a partir dos pesos moleculares das substâncias.

A concentração de potássio adsorvido ao substrato foi obtida pelo emprego da Equação 4.

$$S=(C_0-C_e)\times\left(\frac{Vol}{M}\right) \quad (4)$$

Em que:

S = concentração de Potássio adsorvido ao substrato (mg/kg solo);

$C_0$  = concentração de Potássio inicial na solução (mg/L);

$C_e$  = concentração de equilíbrio de Potássio na solução (mg/L);

Vol = volume de solução adicionada ao béquer (L);

M = massa de substrato adicionada ao béquer (kg).

Com a determinação da concentração de Potássio adsorvido aos substratos e a concentração de equilíbrio das soluções, pode-se ajustar as isotermas de adsorção de Langmuir, Freundlich e Linear (Equações 2, 3 e 4, respectivamente).

O ajuste foi feito por meio do pacote Solver do Microsoft Excel, sendo obtidos, com estes os parâmetros de cada um dos modelos supracitados, de modo a minimizar a soma dos quadrados dos desvios entre concentrações de K adsorvidas observadas e simuladas.

Os modelos matemáticos que melhor se ajustaram aos dados experimentais serão escolhidos com base nos menores valores da raiz do erro médio ao quadrado (RMSE) e Erro Absoluto Médio (EAM), apresentados nas Equações 5 e 6, respectivamente, e maiores valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do Teste F (Equação 7).

$$\text{RMSE} = \left[ \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N (X_{\text{observado},i} - X_{\text{ajustado},i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

em que:

$N$  = número de observações para cada ensaio em batelada;

$X_{\text{observado}, i}$  = adsorção obtida experimentalmente (mg K kg<sup>-1</sup> substrato); e

$X_{\text{ajustado}, i}$  = adsorção ajustada pelo modelo (mg K kg<sup>-1</sup> substrato).

$$\text{EAM} = N^{-1} \sum_{i=1}^N |X_{\text{ajustado},i} - X_{\text{observado},i}| \quad (6)$$

$$\text{Teste F} = \frac{\sum \bar{X}^2_{\text{ajustado},i}}{\sum \bar{X}^2_{\text{residual},i}} \quad (7)$$

em que:

$X_{\text{residual}, i}$  = adsorção residual, definida como a diferença entre o  $X_{\text{observado}, i}$  e  $X_{\text{ajustado}, i}$  (mg K kg<sup>-1</sup> substrato).

## 5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados apresentados na TAB. 5, tem-se que o substrato com o percentual maior de turfa possui valor de CTC mais elevado em relação à vermiculita, o que pode ser explicado pelo alto teor de substâncias húmicas presentes na matéria orgânica das turfas. Segundo Narimoto (2006), as substâncias húmicas possuem alta CTC e na maioria das situações é a principal reguladora da CTC do solo.

Neste sentido, a TAB. 6 apresenta as concentrações de potássio adsorvidos nas amostras em função das concentrações iniciais de K, com o tempo de contato de um dia, onde é possível identificar maior adsorção nos substratos com maiores concentrações iniciais de potássio. Com relação aos substratos, observa-se que o S1 apresentou maior adsorção em comparação aos demais, fato que se justifica por este possuir em sua composição maior percentual de turfa e portanto, maior CTC comparado com S2 e S3 (TAB. 5).

Tabela 6 – Resultado da concentração de K adsorvida nos substratos, pela concentração inicial de K, no período de contato de um dia.

Concentrações Iniciais K (mg/L)	Adsorção (mg K/kg substrato)		
	S1	S2	S3
0	0	0	0
25	180	165	135
50	465	435	390
75	630	630	585
100	855	840	750

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Com a determinação da concentração de potássio adsorvido aos substratos para o período de contato de um dia, pode-se ajustar as isotermas de adsorção Linear, de Langmuir e Freundlich, em que os valores dos seus parâmetros são apresentados na TAB. 7.

Tabela 7 - Parâmetros das isotermas de sorção de K em substratos, para tempo de contato de um dia.

Amostras	Linear	Langmuir		Freundlich	
	K <sub>d</sub>	K <sub>L</sub>	b	K <sub>F</sub>	n
S1	19,818339	1,16824 x 10 <sup>-5</sup>	1697171,194	19,41894	0,994278
S2	18,895412	1,12552 x 10 <sup>-5</sup>	1679309,418	12,1268	0,889069
S3	17,98521	1,25307 x 10 <sup>-5</sup>	1437779,567	7,706396	0,808189

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

O parâmetro K<sub>d</sub> na isoterma Linear, que apresenta o coeficiente de distribuição dos constituintes entre as fases sólida e líquida, possui valores decrescentes de S1 para S3, isso se explica pela amostra S3 possuir características que proporcionaram menor adsorção, menor afinidade entre adsorvato e o adsorvente o que implica em maior mobilidade entre os íons de potássio e a superfície dos componentes da amostra.

No mesmo sentido do parâmetro K<sub>d</sub> do modelo linear, o parâmetro K<sub>L</sub> da isoterma de Langmuir representa a constante da energia de ligação adsorvato/adsorvente, uma constante de afinidade, podendo-se observar que o valor em S3 é maior em relação ao das outras amostras. Em comparação a outro estudo de adsorção de potássio em Argissolo e Latossolo, realizado por Teixeira et al. (2017), em que os valores de K<sub>L</sub> para Latossolo foram de 2,725168 x 10<sup>-3</sup> e Argissolo 5,517981x10<sup>-3</sup> com tempo de contato de 228 horas, percebe-se que no caso dos substratos os valores foram menores, representando uma capacidade menor, deste meio, em manter a reação de adsorção, estando os íons adsorvidos mais suscetíveis à lixiviação.

Outro parâmetro analisado é a constante empírica do modelo de Freundlich n que representa o desvio de linearidade, em que é possível observar, também, valores decrescentes de S1 para S3, em função da maior CTC de S1 e menor de S3. Valores deste parâmetro menores que um implicam em menos sítios ativos livres para adsorção. O parâmetro n da isoterma de Freundlich próximo de 1 para S1, mostra maior capacidade de adsorção de K para este, em função do aumento da concentração inicial das soluções de adsorvato.

Tendo-se realizado a modelagem das isotermas e seus parâmetros, foi possível então obter os coeficientes estatísticos representativos da qualidade do

ajuste dos modelos de isotermas de adsorção ( $R^2$ , RMSE, Teste F e EAM), como apresentado na TAB. 8.

Tabela 8 – Parâmetros estatísticos indicativos da qualidade do ajuste das isotermas de adsorção de K em diferentes substratos para tempo de contato de um dia.

Amostras	Coefficientes	Linear	Langmuir	Freundlich
S1	$R^2$	0,96937	0,96938	0,96934
	REQM	53,7318	53,7300	53,7226
	EAM	38,5813	38,5976	38,3999
	Teste F	94,3583	94,3681	94,3883
S2	$R^2$	0,97809	0,97808	0,98003
	REQM	47,9206	47,9394	43,1898
	EAM	30,5571	30,6038	32,0315
	Teste F	113,8717	113,7559	140,4081
S3	$R^2$	0,967661	0,967656	0,965269
	REQM	101,2441	101,8243	114,4135
	EAM	81,2273	81,8041	79,1618
	Teste F	29,2089	28,9474	24,1984

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Com os dados apresentados na TAB. 8 tem-se que para S1, o modelo que melhor ajustou aos dados observados é o da Isoterma de Freundlich, em função dos menores valores obtidos de REQM e EAM e maior valor do Teste F, sendo exceção o valor do  $R^2$  que foi o menor em relação aos outros.

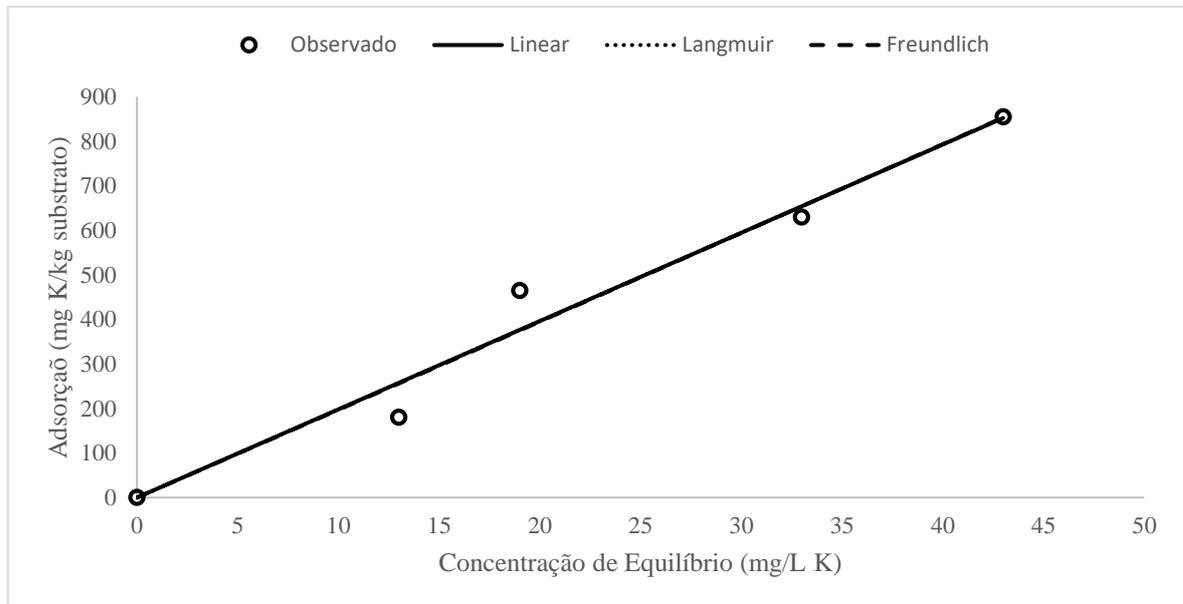
Para o substrato S2 o melhor ajuste também foi dado pelo modelo de Freundlich, em função da obtenção dos maiores valores de  $R^2$  e Teste F e menor valor de REQM, sendo a exceção o valor do EAM que apresentou o maior valor.

Por fim, para o S3 com o tempo de contato de um dia, o modelo que melhor representou os dados observados é o da isoterma Linear, estando os valores de  $R^2$  e Teste F como os maiores em relação aos outros modelos e do erro REQM com o menor valor, não sendo porém, o valor de EAM o menor.

O GRÁF. 1 apresenta os ajustes das isotermas em relação à adsorção observada para cada concentração de K e a CE para amostra S1 no tempo de contato de um dia, sendo o alinhamento dos modelos quase sobrepostos por estes

apresentarem valores bem próximos, sendo o melhor ajuste dado pelo modelo de Freundlich.

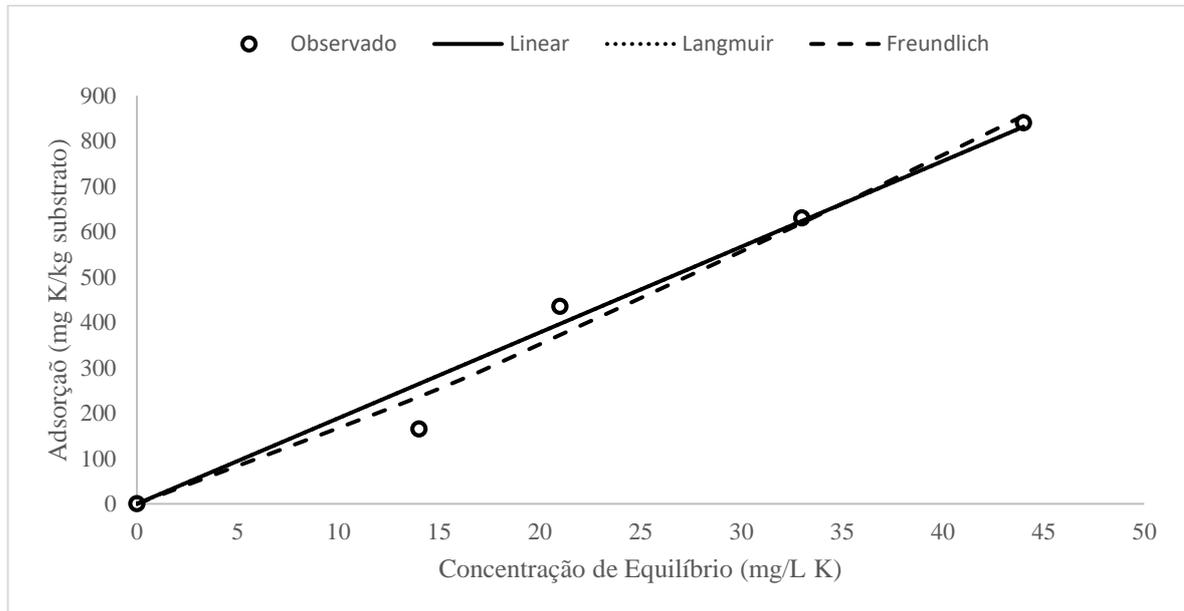
Gráfico 1 - Representação gráfica das isotermas de adsorção de potássio para o S1 para tempo de contato de um dia.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Na representação gráfica do S2 no tempo de contato de um dia, apresentada pelo GRÁF. 2, é possível observar o melhor ajuste pela isoterma de Freundlich pelo alinhamento deste modelo, onde os valores de adsorção e CE são bem próximos, principalmente no ponto dois em relação às outras isotermas. Os modelos Linear e Langmuir apresentam valores próximos estando as linhas de representação sobrepostas.

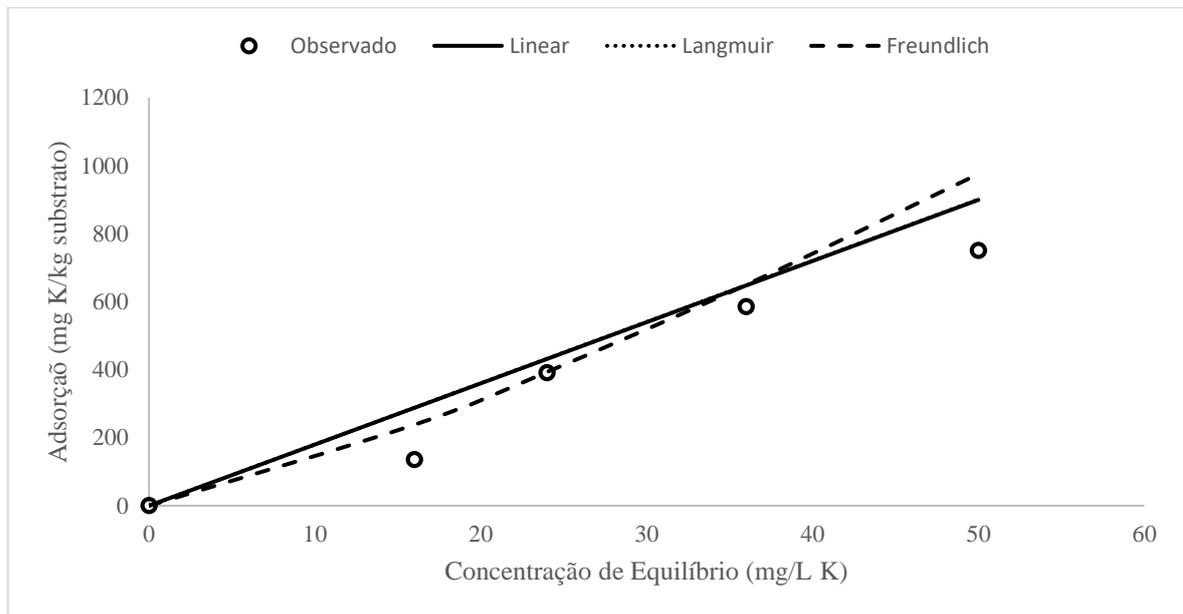
Gráfico 2 - Representação gráfica das isotermas de adsorção de potássio para o S2 para tempo de contato de um dia.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Já pelo GRÁF. 3 é possível analisar a representação gráfica das isotermas em S3 para o tempo de contato de um dia, em que o alinhamento dos ajustes é melhor representado pelo modelo Linear que apresenta valores próximos do modelo Langmuir, como linhas sobrepostas, sendo a diferença de ambos bem pequena. Na representação linear da isoterma de Freundlich há um desvio de alinhamento considerável no ponto cinco.

Gráfico 3 - Representação gráfica das isotermas de adsorção de potássio para o S3 para tempo de contato de um dia.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Nota-se, pela análise dos GRÁF. 1, 2 e 3 que os três substratos avaliados possuíam ainda capacidade de adsorção de K, caso fossem avaliadas soluções com maiores concentrações deste íon. Isso se dá pela tendência linear apresentada em todas as isotermas, o que mostra que nem todos os sítios de adsorção foram preenchidos para as três formulações.

Com relação às amostras de substratos que permaneceram em contato com a solução pelo período de sete dias os valores da concentração de potássio adsorvidos nas amostras, em função da concentração inicial de potássio na solução de KCl são apresentados na TAB. 9.

Tabela 9 – Resultado da concentração de K adsorvida nos substratos, pela concentração inicial de K, no período de contato de sete dias.

Concentrações Iniciais K (mg/L)	Adsorção (mg K/kg substrato)		
	S1	S2	S3
0	0	0	0
25	195	195	135
50	465	480	420
75	705	660	630
100	960	885	825

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Em todos os substratos a adsorção foi maior quanto maior foi a concentração inicial de K homogeneizada a amostra. Em relação a qual substrato a adsorção foi maior, o S1 apresenta valores mais elevados de mg de K adsorvidos por Kg de substrato, com exceção da adsorção com concentração inicial K de 50 mg/L. A maior adsorção em S1 se explica, assim como na amostra S1 do tempo de contato de um dia, por este apresentar o valor de CTC maior em relação as outra amostras (TAB. 5).

Com os dados da concentração de potássio adsorvidos aos substratos para o período de contato de sete dias, têm-se os valores dos parâmetros das isotermas Linear, de Langmuir e Freundlich, estando seus valores apresentados na TAB 10.

Tabela 10 - Parâmetros das isotermas de sorção de K em substratos, para tempo de contato de sete dias.

Amostras	Linear	Langmuir		Freundlich	
	K <sub>d</sub>	K <sub>L</sub>	b	K <sub>F</sub>	n
S1	25,32882012	0,00014999	169588,653	9,79910634	0,780089748
S2	21,77652733	0,002128231	10972,21144	23,7089123	1,025012813
S3	17,98521017	1,25307 x 10 <sup>-5</sup>	1437779,567	7,70639603	0,808189346

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Assim como nas amostras de substrato no tempo de contato de um dia os valores do parâmetro K<sub>d</sub> (coeficiente de distribuição) apresentaram valores decrescentes de S1 para S3, sendo explicado pela maior adsorção em S1 e conseqüentemente a maior mobilidade dos adsorvatos da solução para superfície do adsorvente.

Os valores do parâmetro K<sub>L</sub> sofreram grande variação, principalmente para S1 e S2, comparando-se o tempo de contato entre adsorvente e adsorvato de 1 (TAB. 7) e 7 dias (TAB. 10), sendo a energia de adsorção maior para S2 e menor para S3, estando S3 mais propenso a perder os íons de K adsorvidos por meio de lixiviação. Assim, tem-se que quanto maior o tempo de contato da solução de adsorvato com o meio adsorvente, maior será manutenção da adsorção.

Em relação ao parâmetro n, que apresenta a tendência de desvio de linearidade da isoterma de Freundlich, foi possível observar a variação dos valores, havendo um aumento deste entre S1 em relação a S2 e decréscimo do valor de S2

para S3. Estes valores mostram a variação na quantidade de sítios ativos nas amostras e a capacidade ainda de adsorção, principalmente em S2, em que o valor de  $n$  é maior que um, onde se considera que a quantidade de íons é menor que os sítios ativos de adsorção.

Após o ajuste das isotermas de adsorção foi possível obter os coeficientes de ajuste ( $R^2$ , RMSE, Teste F e EAM) apresentados na TAB. 11, onde o modelo de Freundlich apresentou o melhor ajuste aos dados observados para o S1 (75% Turfa e 25% Vermiculita) e S3 (25% Turfa e 75% Vermiculita), apresentando maiores valores em  $R^2$  e Teste F e menores valores nos erros REQM e EAM, com exceção do Erro Médio Absoluto (EAM) no S3, que apresentou maior valor.

Já para o S2 (50% Turfa e 50% Vermiculita) o modelo de Langmuir apresentou melhor ajuste aos dados do substrato, com valores maiores do  $R^2$  e Teste F e menores valores em REQM e EAM.

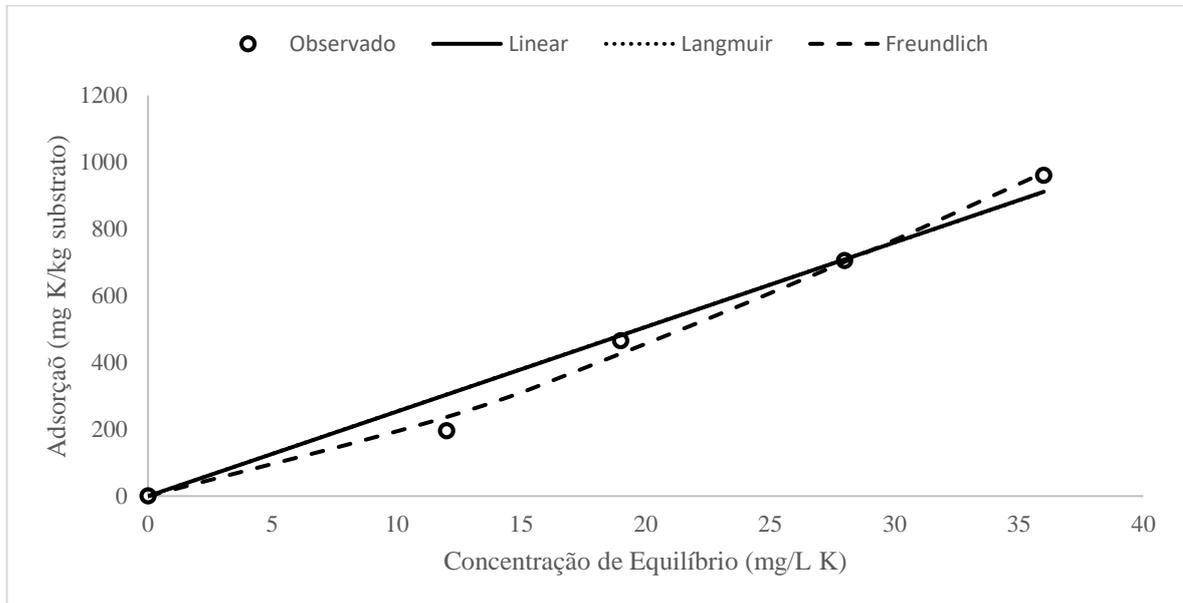
Tabela 11 – Parâmetros estatísticos indicativos da qualidade do ajuste das isotermas de adsorção de K em diferentes substratos para tempo de contato de sete dias.

Amostras	Coeficientes	Linear	Langmuir	Freundlich
S1	$R^2$	0,9829	0,9826	0,9945
	REQM	53,7968	54,327	25,6403
	EAM	35,5126	36,0122	18,3464
	Teste F	114,6059	112,3308	507,944
S2	$R^2$	0,9752	0,9761	0,9755
	REQM	49,8692	49,3108	49,6583
	EAM	35,4502	35,3881	34,7635
	Teste F	118,6049	121,3303	119,6275
S3	$R^2$	0,9534	0,9533	0,9612
	REQM	71,4215	71,4522	60,4305
	EAM	45,8485	45,4755	49,5595
	Teste F	48,8781	48,9604	68,6758

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Já a representação gráfica das isotermas de adsorção Linear, de Freundlich e Langmuir do potássio para o S1 (75% Turfa e 25% Vermiculita) em tempo de contato de sete dias é mostrada no GRÁF. 4.

Gráfico 4 - Representação gráfica das isotermas de adsorção de potássio para o S1 para tempo de contato de sete dias.

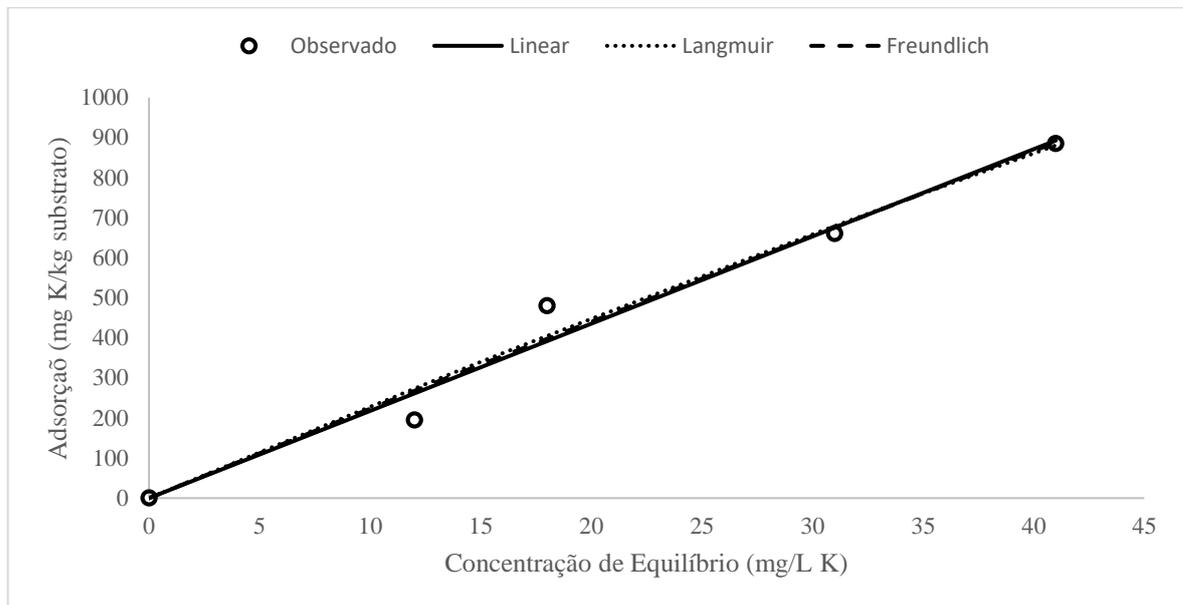


Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Observa-se no GRÁF. 4 o melhor alinhamento de ajuste pelo modelo Freundlich com relação aos valores de adsorção observados e da concentração de equilíbrio de potássio no substrato em questão, estando os modelos de isotermas Linear e Langmuir representados de maneira sobreposta no gráfico.

Já o GRÁF. 5 apresenta a representação gráfica das isotermas de adsorção Linear, de Freundlich e Langmuir do potássio para o S2 (50% Turfa e 50% Vermiculita) em tempo de contato de sete dias.

Gráfico 5 - Representação gráfica das isotermas de adsorção de potássio para o S2 para tempo de contato de sete dias.

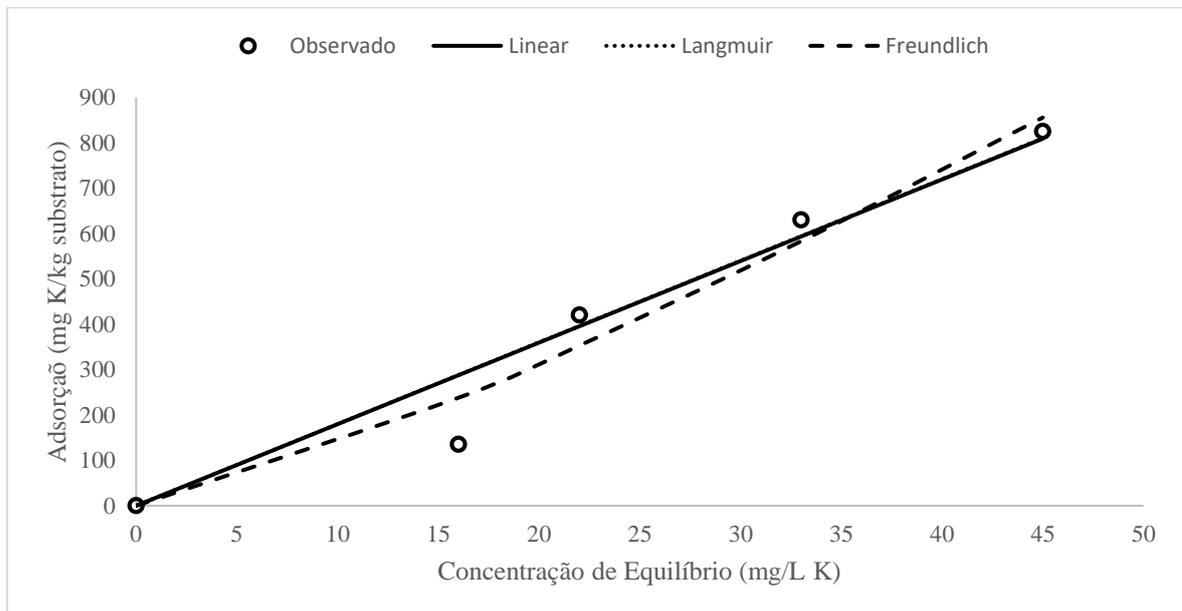


Fonte: Dados da pesquisa (2017)

No GRÁF. 5 é possível perceber que a relação da adsorção de potássio e da concentração de equilíbrio em comparação com os ajustes dos modelos de isotermas são mais bem representados nos dois pontos finais, que possuíam maior concentração inicial de K. O modelo de Langmuir possui melhor ajuste aos dados observados, conforme determinado a partir da análise da TAB. 11.

A representação gráfica das isotermas de adsorção Linear, de Freundlich e Langmuir do potássio para o S3 em tempo de contato de sete dias é mostrada no GRÁF. 6.

Gráfico 6 - Representação gráfica das isotermas de adsorção de potássio para o S3 para tempo de contato de sete dias.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

No S3 (25% Turfa e 75% Vermiculita) o modelo de isoterma de Freundlich apresentou o melhor ajuste aos dados observados experimentalmente (GRÁF. 6). Neste substrato a adsorção de K foi proporcionalmente maior a partir do ponto que possuía concentração inicial de K de 50 mg/L. Tendo sido os valores simulados de adsorção de K a partir das concentrações de equilíbrio observadas nos modelos de isotermas de Langmuir e Linear próximos, teve-se que a representação gráfica de ambos sobreposta.

Determinada a quantidade de potássio adsorvida nas amostras de substrato nas suas diferentes formulações com os tempos de contato, substrato e solução, de um dia e sete dias, foi possível fazer o ajuste das isotermas de adsorção de potássio, bem como determinar qual amostra pela formulação obteve maior adsorção e qual amostra pelo tempo de contato também obteve maior adsorção.

Com relação a qual amostra, em função de sua composição, possuiu maior capacidade de adsorção, observou-se que a amostra S1, com percentual maior de turfa, obteve maior adsorção em relação às demais.

Quanto ao tempo de contato, tem-se que a adsorção foi maior nos substratos que estiveram em contato com a solução de KCl pelo período de sete dias. Como exemplo, para o S1, amostra que apresentou maior capacidade de sorção, com a

concentração inicial de K de 100 mg/L, observou-se que a adsorção passou 855 mg K/kg de substrato para 960 mg K/kg de substrato.

Em estudo realizado por Basso e Kiang (2011), que tinha como objetivo analisar a capacidade de adsorção dos íons de  $K^+$ ,  $Cu^{2+}$  e  $Cl^-$  em solos arenoso e argiloso do subgrupo de Itararé no estado de São Paulo, para concentrações de  $K^+$  variando entre 30 mg/L e 1000 mg/L, foi observado que os valores da capacidade máxima de adsorção ( $Ad_{máx}$ ) de K, utilizando isothermas de Langmuir, de 370 mg/Kg para solo de predominância arenosa e 555 mg/Kg para solos argilosos, valores menores as sorções apresentadas nas concentrações maiores de K nos substrato em suas diferentes formulações e nos dois tempos de contato, constatando assim a maior capacidade de adsorção de potássio pelos substratos em relação aos solos.

Outro comparativo pode ser feito tendo como referência o estudo realizado por Menezes (2007), que teve como intuito analisar a adsorção competitiva de ferro, cobre, zinco e manganês em diferentes substratos a base de pó de coco, de vermiculita e de latossolo. Assim como observado neste trabalho em que a maior adsorção de K ocorreu nos substratos a base de turfa, no trabalho acima citado pôde-se notar a maior capacidade de adsorção dos metais no substrato orgânico a base de pó de coco em relação ao substrato também composto por vermiculita. Essa tendência de maior adsorção nos meios orgânicos é apresentado pela variação do coeficiente de distribuição ( $\Delta K_d$ ) pelas diferentes concentrações dos elementos (Fe, Cu, Zn e Mn), onde os valores de  $K_d$  para Fe variaram de 16,7 a 76,9 no substrato de vermiculita e 60,9 a 83,7 para pó de coco, representando maior afinidade de sorção destes elementos no substrato composto por material orgânico.

## 6- CONCLUSÃO

A maior adsorção ocorreu nos substratos formulados com 75% de turfa e 25% de vermiculita, sendo a matéria orgânica um dos principais constituintes da turfa e responsável pela alta CTC que é parâmetro que caracteriza maior adsorção.

Em relação às adsorções de K aos substratos, em função do tempo de contato das soluções com o meio adsorvente, as amostras que estiveram em contato pelo período de sete dias apresentaram valores de adsorção maiores.

Quanto aos modelos matemáticos de isotermas que melhor se ajustaram aos dados, tem-se que para o período de contato de um dia o modelo de Freundlich melhor descreveu o processo de adsorção para as amostras S1 e S2 e para o S3, foi o Linear. Já para as amostras que se mantiveram em contato com as soluções de K pelo período de sete dias, o modelo de Freundlich melhor se ajustou aos dados observados de adsorção em S1 e S3, enquanto que o modelo de Langmuir foi o que melhor representou o processo de adsorção de K ao S2.

## REFERÊNCIAS

- ALLEONI, L. R. F. ; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C. Isotermas de Langmuir e de Freundlich na descrição da adsorção de boro em solos altamente intemperizados. **Sci. agric.**, Piracicaba, v. 55, n. 3, 1998. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90161998000300005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161998000300005)>. Acesso em: 18 set. 2017.
- BASSO, J. B.; KIANG, C.H. Coeficiente de distribuição ( $K_d$ ) de cobre, potássio e cloreto em solos residuais do subgrupo Itararé no estado de São Paulo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 2., 2011, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS, 2011. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28063>>. Acesso em: 26 nov. 2017.
- BENICIO, F. R. et al. Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão na cultura da goiaba em Barbalha - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.3, n.2, p.55–61, 200p. Disponível em: <<http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/21>>. Acesso em: 20 set. 2017.
- BEZERRA, P.S.S. **Substâncias húmicas e fontes de fósforo: teor de fósforo disponível em solos e absorção pela cana-de-açúcar**. 2014. 70 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100828/000747640.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 13 set. 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n. 17** de 21 de maio de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos. Brasília, DF, 24 mai. 2007. Seção I.
- BRITO, L. M.; MOURÃO L. Características dos substratos para horticultura: propriedades e características dos substratos (Parte I). **AGROTEC**, Portugal, v. 2, p. 32-38, mar. 2012a. Disponível em: <[https://digitalis-dsp.uc.pt/bitstream/10316.2/25812/1/AGROTEC2\\_artigo14.pdf](https://digitalis-dsp.uc.pt/bitstream/10316.2/25812/1/AGROTEC2_artigo14.pdf)>. Acesso em: 4 set. 2017.
- BRITO, L. M.; MOURÃO L. Características dos substratos para horticultura: composição e características dos constituintes individuais dos substratos (Parte II). **AGROTEC**, Portugal, v. 3, p. 64-69, jun. 2012b. Disponível em: <[https://digitalis-dsp.uc.pt/bitstream/10316.2/25701/1/AGROTEC3\\_artigo24.pdf](https://digitalis-dsp.uc.pt/bitstream/10316.2/25701/1/AGROTEC3_artigo24.pdf)>. Acesso em: 4 set. 2017.
- CARNEIRO, S.A.P. **Influência de substratos alternativos e diferentes tipos de bandejas na cultura da alface**. In: Encontro Nacional sobre Substrato para Plantas, 7., 2010, Goiânia. Disponível em: <[https://www.agro.ufg.br/up/68/o/INFLUENCIA\\_DE\\_SUBSTRATOS\\_ALTERNATIVOS\\_E\\_DIFERENTES\\_TIPOS\\_DE\\_BANDEJAS\\_NA\\_CULTURA\\_DA\\_ALFACE\\_.pdf](https://www.agro.ufg.br/up/68/o/INFLUENCIA_DE_SUBSTRATOS_ALTERNATIVOS_E_DIFERENTES_TIPOS_DE_BANDEJAS_NA_CULTURA_DA_ALFACE_.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2017.
- CASTRO, C.N. de. **Definição de unidades de gerenciamento do solo por meio da sua condutividade elétrica e variáveis físico-químicas**. 2004. 118 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/1/11148/tde-27092004-155540/pt-br.php>>. Acesso em: 14 set. 2017.

CASTRO, L.H. et al. Estudo dos componentes químicos da turfa. In: X Encontro Latino Americano De Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano De Pós-Graduação, 2006, São José dos Campos. **Anais ...** São José dos Campos: Revista Univap, 2006. 198-200 p. Disponível em: <[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2007/trabalhos/exatas/epg/EPG00309\\_01O.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2007/trabalhos/exatas/epg/EPG00309_01O.pdf)>. Acesso em: 13 set. 2017.

CAVALCANTE, M.Z.B. **Características de substratos e concentrações de soluções nutritivas para o cultivo do crisântemo em vaso.** 2007. 132 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/pv/d/2632.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2017.

CONCEIÇÃO et al. Disponibilidade hídrica e cinética da liberação de potássio em diferentes substratos para produção de mudas. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 602-614, julho - setembro, 2015. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1728/1322>>. Acesso em: 18 set. 2017.

FAVALESSA, M. **Substratos renováveis e não renováveis na produção de mudas de acácia mangium.** 2011. 41 p. Dissertação (Título de Engenheiro Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011. Disponível em: <[http://www.florestaemadeira.ufes.br/sites/florestaemadeira.ufes.br/files/TCC\\_Marcilene%20Favalessa.pdf](http://www.florestaemadeira.ufes.br/sites/florestaemadeira.ufes.br/files/TCC_Marcilene%20Favalessa.pdf)>. Acesso em: 13 set. 2017.

FERNANDES, A.N. **Caracterização química e reatividade de substâncias húmicas, solos e turfas.** 2007. 107 p. Dissertação (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/90031/238940.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 11 de set. 2017.

FONSECA, T.G. **Produção de mudas de hortaliças em substratos de diferentes composições com adição de CO<sub>2</sub> na água de irrigação.** 2001. 72 p. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-08042002-094507/pt-br.php>>. Acesso em: 4 set. 2017.

FRANÇA, S.C.A. et. al. Vermiculita, mais que um mineral termo acústico. In: SIMPÓSIO DE MINERAIS INDUSTRIAIS DO NORDESTE, 4., 2016, João Pessoa. **Anais...** Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCTI, 2016. 126-136 p. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/images/congressos/2016/ORAL14.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2017.

FRANCHI, J.G. **Aplicação de turfa na recuperação de solos degradados pela mineração de areia.** 2000. 103 p. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2000. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-17122001-110912/publico/tde.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-17122001-110912/publico/tde.pdf)>. Acesso em: 11 set. 2017.

FREITAS, I. C. V. et al. Adsorção e dessorção de metais no solo e coeficientes de isothermas de freundlich e langmuir. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 31, n. 2, p 153–163, 2010. Disponível em: < <http://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/at/article/view/4516/4637>>. Acesso em: 15 set. 2017.

GERVÁSIO, E. S. **Efeitos de lâminas de irrigação e doses de condicionador, associados a diferentes tamanhos de tubetes, na produção de mudas de cafeeiro.** 2003. 105 p. Dissertação (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Universidade de São

Paulo, Piracicaba, 2003. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-23092003-135210/pt-br.php>>.

Acesso em: 19 set. 2017.

GODOY, V. A. de. **Estudo dos mecanismos de transporte de sódio, fosfato e amônio em colunas indeformadas de material inconsolidado residual de arenitos da Formação Adamantina**. 2013. 208 p. Dissertação (Mestre em Ciências Geotécnica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-28112013-111757/pt-br.php>>.

Acesso em: 24 out. 2017.

KRATZ, D. **Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage e *Mimosa scabrella* Benth.** 2011. 120 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em:

<[http://www.floresta.ufpr.br/defesas/pdf\\_ms/2011/d562\\_0768-M.pdf](http://www.floresta.ufpr.br/defesas/pdf_ms/2011/d562_0768-M.pdf)>. Acesso em: 13 set.

2017.

KRATZ, D. et al. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1103-1113, 2013. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v37n6/12.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.

LACERDA, M.R.B. Características físicas e químicas de substratos à base de pó de coco e resíduo de sisal para produção de mudas de sabiá. **Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 163-170, 2006. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n2/a02v30n2.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.

LIMA, R. de L. S. de et al. Substratos para produção de mudas de mamoneira compostos por misturas de cinco fontes de matéria orgânica. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 474-479, maio/jun. 2006. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v30n3/v30n3a13.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2017.

LOPES, C. M. **Adsorção individual e competitiva de Cd, Cu, Ni e Zn em solos em função da variação de pH**. 2009. 100 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-14042009-075605/pt-br.php>>.

Acesso em: 16 set. 2017.

MACEDO, A.C. de. **Produção de mudas em viveiros florestais: espécies nativas.**

Revisado e ampliado por P.Y. KAGEYAMA; L.G.S. da COSTA. São Paulo: Fundação Florestal, 18 p., 1993. Disponível em:

<<http://www.fca.unesp.br/Home/Extensao/GrupoTimbo/Manualdeproducaodemudasemviveiros.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2017.

MARTIN, T.N. et al. Utilização de vermiculita, casca de pinus e carvão na produção de mudas de pepino e de pimentão. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n.1, p. 107-113, jan./mar. 2006. Disponível em:

<<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/1687/1045>>. Acesso em:

13 set. 2017.

MELLIS, E. V. **Adsorção e dessorção de Cd, Cu, Ni e Zn, em solo tratado com lodo de esgoto**. 2006. 173 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-04042007-161914/pt-br.php>>. Acesso em: 15 set. 2017.

MELO JUNIOR, J. C. F. de.;GERVÁSIO, E. S.; ARMINDO R. A. Sistema de automação para o manejo da subirrigação em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 337-350, abr./jun. 2013. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/557>>. Acesso em: 18 set. 2017.

MENDES, A.M.S. **Introdução a fertilidade do solo**. Barreiras, BA: Embrapa Semi-Árido, 2005. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/159197/introducao-a-fertilidade-do-solo>>. Acesso em: 14 set. 2017.

MENEZES JÚNIOR, F.O.G. et al. Caracterização de diferentes substratos e seu desempenho na produção de mudas de alface em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 3, p. 164-170, nov. 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v18n3/v18n3a04>>. Acesso em: 3 set. 2017.

MONTEIRO, R. A. **Avaliação do potencial de adsorção de U, Th, Pb, Zn e Ni pelas fibras de coco**. 2009. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia e Ciências – Materiais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-29082011-144757/pt-br.php>>. Acesso em: 16 set. 2017.

MOREIRA, C. S. **Adsorção competitiva de cádmio, cobre, níquel e zinco em solos**. 2004. 108 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-11112004-144415/pt-br.php>>. Acesso em: 16 set. 2017.

MOREIRA, S. de A. **Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pedúnculo de caju: estudo de batelada e coluna de leito fixo**. 2008. 116 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008. Disponível em: <[http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/17229/1/2008\\_dis\\_samara%C3%BAjo.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/17229/1/2008_dis_samara%C3%BAjo.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2017.

NARIMOTO, K. M. **Técnica espectroscópicas aplicadas à análise da matéria orgânica do solo em pomares de citros sob adição de lodo de esgoto**. 2006. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Química Analítica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75132/tde-29012007-114840/pt-br.php>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

NASCIMENTO, R. F. do. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

NICOHELLI, L. M. **Sorção ao potássio de diferentes materiais submetidos à aplicação de vinhaça**. 2011. 54 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2011. Disponível em: <<http://200.129.241.80/ppgeea/sistema/dissertacoes/36.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2017.

NOMURA, E.S. et al. Influência do substrato e do tipo de fertilizante na aclimação de mudas de bananeira 'prata-anã'. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 773-779, maio/jun. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v33n3/a16v33n3.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2017.

OLIVEIRA, M. C. de. **Manual de Viveiro e Produção de Mudas: Espécies Arbóreas Nativas do Cerrado**. 1 ed. rev. e aum. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado – Embrapa Cerrado, 2016. Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/141891/1/Manual-de-Viveiro-e-producao-de-mudas.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2017.

PASTORE, O. Substrato. **Atelier do bonsai**. Disponível em: <<http://www.atelierdobonsai.com.br/Substrato.php>>. Acesso em: 14 set. 2017.

PENSAMENTO VERDE. Meio ambiente. **Descubra o que é turfa e como ela pode ser usada**, 2014. Disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/descubra-o-que-e-turfa-e-como-ela-pode-ser-usada/>>. Acesso em: 13 set. 2017.

PETRONI, S. L. G. **Avaliação cinética e de equilíbrio do processo de adsorção dos íons dos metais cádmio, cobre e níquel em turfa**. 2004. 114 p. Dissertação (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <[http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Sergio%20Luis%20Graciano%20Petroni\\_D.pdf](http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Sergio%20Luis%20Graciano%20Petroni_D.pdf)>. Acesso em: 26 set. 2017.

PETRONI, S.L.G.; PIRES, M.A.F.; MUNITA, C.S. Adsorção de zinco e cádmio em colunas de turfa. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 477-481, nov. 1999. Disponível em: <[http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol23No4\\_477\\_v23\\_n4\\_\(8\).pdf?agreq=ADSOR%C3%87%C3%83O%20DE%20ZINCO%20E%20C%C3%81DMIO%20EM%20COLUNAS%20DE%20TURFA&agrep=jbcs,qn,qnesc,qnint,rvq](http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol23No4_477_v23_n4_(8).pdf?agreq=ADSOR%C3%87%C3%83O%20DE%20ZINCO%20E%20C%C3%81DMIO%20EM%20COLUNAS%20DE%20TURFA&agrep=jbcs,qn,qnesc,qnint,rvq)>. Acesso em: 12 set. 2017.

PIRES, R. C. de M. Agricultura Irrigada. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo, p. 98-111, jun. 2008. Disponível em: <[http://www.apta.sp.gov.br/Publicacoes/T&IA/T&IAv1n1/Revista\\_Apta\\_Artigo\\_Agricultura.pdf](http://www.apta.sp.gov.br/Publicacoes/T&IA/T&IAv1n1/Revista_Apta_Artigo_Agricultura.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2017.

PRESTES, M.T. **Efeitos de diferentes doses de esterco de gado, no desenvolvimento e no balanço nutricional de mudas do angico (*Anadenanthera macrocarpa*)**. 2007. 45 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: <[http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/2959/1/2007\\_MarcioTadeuPrestes.PDF](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/2959/1/2007_MarcioTadeuPrestes.PDF)>. Acesso em: 13 set. 2017.

SALVADOR, C. A. **Sistema de irrigação por capilaridade na produção de porta-enxertos de mudas cítricas na fase de sementeira**. 2010. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/256939>>. Acesso em: 18 set. 2017.

SCHMITZ, J.; SOUZA, P.V.D de; KÄMPF, A.N. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 937-944, nov./dez. 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v32n6/12737.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2017.

SCHAFER, G.; SOUZA, P.V.D.; FIOR, C.S. Um panorama das propriedades físicas e químicas de substratos utilizados em horticultura no sul do Brasil. **Ornamental Horticulture**, Porto Alegre, v.21, n.3, p. 299-306, 2015. Disponível em: <<https://ornamentalthorticulture.emnuvens.com.br/rbho/article/viewFile/735/592>>. Acesso em: 13 set. 2017.

SCHWANKE, R. O. **Determinação da difusividade de hidrocarbonetos aromáticos em zeólitas y por métodos cromatográficos**. 2003. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

Disponível em:

<[http://www.anp.gov.br/capitalhumano/arquivos/prh09/ronald\\_olavo\\_schwanke\\_prh09\\_ufsc\\_m.pdf](http://www.anp.gov.br/capitalhumano/arquivos/prh09/ronald_olavo_schwanke_prh09_ufsc_m.pdf)>. Acesso em: 16 set. 2017.

SILVA, L. P. da. **Influência do íon acompanhante nos parâmetros de transporte do nitrato no solo**. 2013. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/111152/tde-26062013-110203/pt-br.php>>. Acesso em: 17 set. 2017.

SILVA, P. H. M. da. **Impactos das doses e do parcelamento da fertilização na produtividade, lixiviação e ciclagem de nutrientes em plantações de eucalipto**. 2011. 116 p. Dissertação (Doutorado em Ciências, Programa: Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/111150/tde-14022012-102542/pt-br.php>>. Acesso em: 17 set. 2017.

SOARES, M. R. **Coefficiente de distribuição ( $K_d$ ) de metais pesados em solos do estado de São Paulo**. 2004. 182 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/111140/tde-31052005-170719/pt-br.php>>. Acesso em: 16 set. 2017.

STAMATO JUNIOR, R. P. **Condições meteorológicas e consumo de água por mudas cítricas em ambiente protegido**. 2007. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2007. Disponível em:

<<http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstitutoposgraduacao/dissertacoes/pb1206005.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2017.

THEBALDI, M. S. **Irrigação de mudas de espécies florestais nativas produzidas em tubetes**. 2011. 83 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011. Disponível em:

<[http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/3041/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Irriga%C3%A7%C3%A3o%20de%20mudas%20de%20esp%C3%A9cies%20florestais%20nativas%20produzidas%20em%20tubetes.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/3041/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Irriga%C3%A7%C3%A3o%20de%20mudas%20de%20esp%C3%A9cies%20florestais%20nativas%20produzidas%20em%20tubetes.pdf)>. Acesso em: 19 set. 2017.

THEBALDI, M. S. et al. Uniformidade de aplicação de água na irrigação de mudas de espécies florestais nativas produzidas em tubetes. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 4, p. 978-987, jul/ago. 2014. Disponível em:

<[www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/download/21832/14742](http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/download/21832/14742)>. Acesso em: 20 set. 2017.

TEIXEIRA, L. R. M. et al. Isotermas de adsorção de potássio em diferentes solos. In: Congresso Brasileiro de Agronomia, 30., 2017, Fortaleza. **Anais ...** Fortaleza: Associação dos Engenheiros Agrônômicos do Ceará. Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/publication/319877795\\_Isotermas\\_de\\_adsorcao\\_de\\_potassio\\_em\\_diferentes\\_solos](https://www.researchgate.net/publication/319877795_Isotermas_de_adsorcao_de_potassio_em_diferentes_solos)>. Acesso em: 20 set. 2017.

UGARTE, J.F. de O.; SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C.A. Vermiculita. In: LUZ, A.B. da; LINS, F.A.F. (Org). **Rochas & minerais industriais: usos e especificações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCTI, 2005. p. 677-698. Disponível em: <[www.cetem.gov.br/livros/item/download/64\\_3b01456126f4249cfda6180592db4b30](http://www.cetem.gov.br/livros/item/download/64_3b01456126f4249cfda6180592db4b30)>. Acesso em: 13 set. 2017.

UNESP. **Vermiculita**. Disponível em:

<<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/silicatos/filossilicatos/vermiculita.html>>. Acesso em: 12 set. 2017.

ZORZETO, T.Q. **Caracterização física e química de substratos para plantas e sua avaliação no rendimento do morangueiro**. 2011. 85 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2011. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstitutoposgraduacao/dissertacoes/pb1214709%20THAIS%20QUEIROZ%20ZORZETO.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2017.