

**Uso de resíduos de mineração como substrato na formação de mudas de
(*Carica papaya L.*)****Mining waste as substrate in the formation of (*Carica papaya L.*) seedlings**

DOI:10.34117/bjdv6n7-255

Recebimento dos originais:03/06/2020

Aceitação para publicação:13/07/2020

Francisca Jéssica da Silva Melo

Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande
Endereço: Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770 - Pereiros, Pombal - PB, Brasil
E-mail: jessicahmello90@gmail.com

Jackson de Mesquita Alves

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande
Endereço: Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770 - Pereiros, Pombal - PB, Brasil
E-mail:mesquitajackson2018@gmail.com

Pedro Jorge da Silva Severo

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande
Endereço: Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770 - Pereiros, Pombal - PB, Brasil
E-mail: pjorgesevero33@gmail.com

Leônidas Canuto dos Santos

Graduando em Agronomia
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande
Endereço: Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770 - Pereiros, Pombal - PB, Brasil
E-mail: canuto.100@hotmail.com

Evandro Franklin de Mesquita

Doutorado em Engenharia Agrícola
Instituição: Universidade Estadual da Paraíba
Endereço: Sitio Cajueiro, S/N - Zona Rural, Catolé do Rocha – PB, Brasil
E-mail: elmesquita4@uepb.edu.br

Rita Magally Oliveira da Silva Marcelino

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo
Instituição: Universidade Federal Rural do Pernambuco
Endereço: Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife – PE. Brazil
E-mail: rm.magally@gmail.com

Elydaiane da Nóbrega Santos

Graduada em Agronomia
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande

Endereço: Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770 -Pereiros, Pombal -PB, Brasil
E-mail: dayane-nobrega@outlook.com

Josinaldo Lopes Araújo Rocha

Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande
Endereço: Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770 - Pereiros, Pombal -PB, Brasil
E-mail: jhosinal_araujo@yahoo.com.br

RESUMO

A extração de vermiculita e caulim geram resíduos com grande potencial poluente. Estes materiais, embora ainda pouco estudados, podem ser aproveitados na agricultura, principalmente na produção de mudas, contribuindo para mitigar parte dos impactos ambientais da mineração. Objetivou-se avaliar o potencial de resíduos minerais como componente de substrato para produção de mudas de mamoeiro. Dois experimentos foram conduzidos em ambiente protegido, com resíduo de caulim e outro com resíduo de vermiculita. O delineamento experimental utilizado foi o DIC, com tratamentos correspondentes a cinco proporções de resíduos com quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Os tratamentos foram estabelecidos em T1 contendo 0% de resíduo de mineração (RM) + 75% de solo (S) + 25% de esterco bovino (EB), em T2 contendo 10% de (RM) + 65% (S) + 25% (EB), em T3 contendo 20% de RM + 55% de solo + 25% (EB), em T4 contendo 30% RM + 45% (S) + 25% (EB) e T5 contendo 40% de (RM) + 35% (S) + 25% (EB). Observou-se que a proporção 30% de resíduo de vermiculita ou de caulim proporcionou maior crescimento e qualidade de mudas de mamoeiro. Os teores de Ca, pH e capacidade de retenção de água do substrato se correlacionam positivamente com o crescimento e qualidade das mudas de mamoeiro, enquanto os teores de sódio e a porosidade total se correlacionaram de forma negativa. Concluiu-se que mudas de mamoeiro podem ser produzidas com substrato contendo 30% de (RM) de caulim ou vermiculita + 45% de (S) + 25% de (EB).

Palavras-Chave: Caulim, Mamoeiro, Qualidade de mudas, Vermiculita.

ABSTRACT

The extraction of vermiculite and kaolin generates waste with great polluting potential. These materials, although still little studied, can be used in agriculture, mainly in the production of seedlings, contributing to mitigate part of the environmental impacts of mining. The objective was to evaluate the potential of mineral residues as a substrate component for the production of papaya seedlings. Two experiments were conducted in a protected environment, with kaolin residue and another with vermiculite residue. The experimental design used was the DIC, with treatments corresponding to five proportions of residues with four replications, totaling 20 experimental units. The treatments were established in T1 containing 0% mining waste (RM) + 75% soil (S) + 25% bovine manure (EB), in T2 containing 10% (RM) + 65% (S) + 25% (EB), in T3 containing 20% RM + 55% soil + 25% (EB), in T4 containing 30% RM + 45% (S) + 25% (EB) and T5 containing 40% (RM) + 35% (S) + 25% (EB). It was observed that the proportion of 30% of vermiculite or kaolin residue provided greater growth and quality of papaya seedlings. The Ca content, pH and water retention capacity of the substrate correlate positively with the growth and quality of papaya seedlings, while the sodium contents and total porosity correlated negatively. It was concluded that papaya seedlings can be produced with substrate containing 30% (RM) of kaolin or vermiculite + 45% (S) + 25% (EB).

Keywords: Kaolin, Papaya, Seedling quality, Vermiculite.

1 INTRODUÇÃO

O mamão (*Carica papaya* L.) é uma fruta muito consumida uma vez que, a polpa tem características sensoriais atrativas (textura, cor e aroma), químicas (teor de sólidos solúveis, acidez e bom equilíbrio entre açúcares e ácidos orgânicos) bom valor nutricional, sendo fonte de vitaminas A, B1, B2 e C. e digestivas, que o tornam um alimento ideal e saudável para pessoas de todas as idades (CARVALHO *et al.*, 2020).

Esta fruta tem origem em regiões da Ásia e da África, em que seu valor comercial é bastante elevado, por possuir características peculiares apreciadas pelo mercado interno e externo (MULLER *et al.*, 2013). Quantitativamente, as regiões Sudeste e Nordeste são as mais expressivas e juntas produzem 87,5% da produção nacional, destacando-se os estados do Espírito Santo e Bahia como os principais produtores (ONO *et al.*, 2014).

A qualidade do substrato na produção de mudas de mudas de mamoeiro é um passo importante para o sucesso da implantação de pomares (LIMA *et al.*, 2010). Um substrato de boa qualidade, precisa ser capaz de oferecer suporte físico, porosidade adequada para fornecer água e ar e nutrientes para as plantas (BARDIVIESSO *et al.*, 2014). Entretanto, nesta atividade geralmente utiliza-se substratos comerciais produzidos com matéria-prima à base resíduos orgânicos e fertilizantes minerais sintéticos, que nem sempre são de baixo custo ou de fácil aquisição.

A atividade de mineração da vermiculita e do caulim tem gerado impactos ambientais negativos em todo o mundo, seja pelo desmatamento para a implantação da lavra, seja pelo acúmulo do resíduo gerado em torno da planta de beneficiamento, uma vez que cerca de 60 a 80% do material extraído constitui resíduos não aproveitados (LEITE *et al.*, 2016).

A vermiculita tem diversas aplicações na indústria, dentre elas a produção de vermiculita expandida para uso como substrato para produção de mudas, na fabricação de freios automotivos, isolamento térmico de paredes e telhados, produtos da construção civil, rações para animais, horticultura e muitas outras aplicações industriais (MARCOS & RODRÍGUEZ, 2013). O caulim, por sua vez, é utilizado nos vários mercados mundiais incluindo uma ampla variedade de aplicações em cobertura e carga de papel, cerâmica, tintas, plásticos, borracha, fibras de vidro, suporte de catalisadores de craqueamento de petróleo e muitas outras utilizações (BERTOLINO *et al.*, 2012).

Os resíduos de exploração de vermiculita apresentam em sua composição vermiculita, talco, Mg-hornblenda e hidrobiotita como minerais mais abundantes. Análises químicas, por sua vez, realizadas constataram que K, Ca e Mg foram os nutrientes encontrados em maior proporção, cuja variação foi de 3,5% a 4,6% de K_2O ; 9,4% a 10,0% de CaO e 16,1% a 21,0% de MgO (FRANÇA *et al.*, 2010; SOUSA *et al.*, 2011). Os resíduos da exploração do mineral caulim, por sua vez, são

constituídos basicamente por caulim, quartzo e micas. Quimicamente o rejeito de caulim com a seguinte composição: 50,38% de SiO₂, 34,76% de Al₂O₃, 0,35% de Fe₂O₃, 1,18% de K₂O, 0,01% de CaO e 0,83% de MgO (LEANDRO *et al.*, 2017).

O potencial desses resíduos na agricultura, especialmente na produção de mudas de espécies florestais e de fruteiras tem sido verificado em alguns trabalhos (PEREIRA *et al.*, 2008; RODRIGUES *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2016; LEITE & BAKKE, 2018). Contudo, há carência de trabalhos com espécies fruteiras como o mamoeiro.

Objetivou-se com o presente estudo avaliar o efeito de proporções de resíduo de exploração dos minerais caulim e vermiculita como componente de substrato sobre o crescimento e a qualidade de mudas de mamoeiro do grupo ‘formosa’.

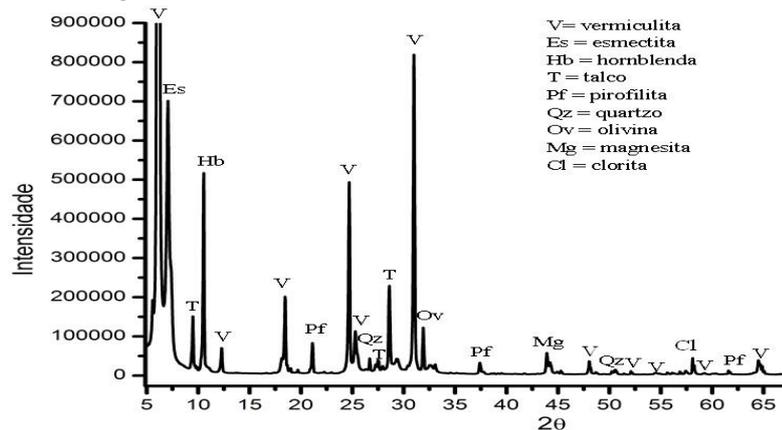
2 METODOLOGIA

O trabalho foi conduzido em condições de casa de vegetação, na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar - Campus de Pombal - PB (6° 76’ Sul, 37° 8’ Oeste e altitude de 184 m), no período de fevereiro a maio de 2018. O clima da região é caracterizado como BSh (semiárido quente) com precipitação pluviométrica média anual, mensurada nos últimos 10 anos, de 963,07 mm (AESAs, 2012) e temperatura média de 28 C°.

Foram realizados dois experimentos, sendo um com resíduo de mineração de caulim e outro com resíduo de mineração de vermiculita. O resíduo de caulim foi obtido na Mineração São João (MSJ) no município de Junco do Seridó – PB. O resíduo de Vermiculita foi obtido em uma área de descarte próxima à mineradora União Brasileira de Mineração (UBM) localizada no município de Santa Luzia-PB.

A caracterização mineralógica (Figura 1) do resíduo foi efetuada por difração de raios-X (DRX) a partir de uma amostra moída com granulometria abaixo de 200 mesh (74 µm). A interpretação do difratograma gerado foi realizado com o auxílio do *Software* CRYOSYSTEMS e da literatura (RESENDE *et al.*, 2012).

Figura 1 - Difratoograma de raios X (DRX) do resíduo de vermiculita utilizado no experimento.



Em ambos os experimentos, o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado sendo os tratamentos correspondentes a cinco proporções dos resíduos de mineração com quatro repetições, totalizando 20 parcelas experimentais por experimento. Cada parcela experimental foi constituída por oito plantas. Os tratamentos foram estabelecidos como: T1: 0% de resíduo de mineração + 75% de solo + 25% de esterco; T2: 10% de resíduo de mineração + 65% de solo + 25% de esterco bovino; T3: 20% de resíduo de mineração + 55% de solo + 25% de esterco bovino; T4: 30% de resíduo de mineração + 45% de solo + 25% de esterco bovino e T5: 40% de resíduo de mineração + 35% de solo + 25% de esterco bovino. As mudas foram produzidas em sacos de polietileno de cor preta, com dimensões de 14 x 20 cm. Antes da aplicação dos resíduos ao substrato, estes foram passados em peneira de 2 mm de malha para fins de padronização da granulometria.

As plantas foram cultivadas em casa de vegetação com cobertura de sombrite com passagem de 50% de luminosidade, temperatura média de 29,2 °C e umidade relativa do ar média de 65%. As irrigações foram realizadas diariamente no início da manhã e fim de tarde, de forma manual, com base na necessidade hídrica das plantas, e de forma a manter o substrato próximo à capacidade de campo. Após isso, feito o desbaste onde foi selecionada apenas uma planta por recipiente, sendo essa planta de pelo menos 10 cm de altura.

Após o preparo, homogeneização e distribuição nos recipientes de acordo com os tratamentos, as amostras correspondentes a cada repetição, foram encaminhadas ao Laboratório de Análises de Solo do CCTA/UFMG para sua caracterização química (Tabela 1) e física (Tabela 2), conforme procedimentos descritos pela EMBRAPA (2011).

Tabela 1 - Atributos químicos do substrato em função das proporções e do tipo de resíduo de mineração utilizado na composição dos substratos.

Prop. (%)	pH _{H2O}	CE	M.O	P	Ca	Mg	Na	K	CTC	SB	V
		mS/cm	g/kg	mg/dm ³	-----cmol _c /dm ³ -----					%	
Resíduo de caulim											
0	6,9	1.078,0	8,8	34,3	8,4	3,6	1,1	1,1	19,9	17,4	87,4
10	6,7	840,7	9,6	28,1	6,1	3,9	2,3	1,4	16,9	14,8	87,6
20	6,8	836,1	2,7	14,6	6,5	2,4	2,3	2,3	17,4	15,2	87,4
30	7,3	890,2	7,3	23,1	8,2	6,7	2,0	2,3	22,7	20,7	91,2
40	6,9	778,3	6,0	10,5	8,4	11,1	2,9	2,0	27,8	25,8	92,8
Resíduo de vermiculita											
0	7,1	657,7	5,9	22,3	7,6	4,0	1,4	2,9	19,4	17,3	89,2
10	6,9	440,3	5,9	14,0	7,0	7,5	1,4	1,4	20,6	18,4	89,3
20	6,9	372,4	7,9	24,9	7,5	8,5	1,6	1,6	22,5	20,2	89,8
30	6,8	1.075,0	2,9	12,8	7,1	2,2	2,5	2,5	17,3	15,0	86,7
40	6,8	1.135,0	4,0	17,4	5,5	4,1	3,0	3,0	18,2	16,2	89,0

CE: Condutividade elétrica do extrato de saturação; MO: matéria orgânica; P: ter de fósforo disponível; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases.

Tabela 2 - Atributos Físicos do substrato em função das proporções e do tipo de resíduo de mineração utilizado na composição dos substratos.

Proporção (%)	DS	Dp	Pt	CRA
	-----g/cm ³ -----		-----%-----	
Resíduo de caulim				
0	1,25	2,37	47,35	57
10	1,24	2,37	47,40	55
20	1,21	2,33	48,25	56
30	1,24	2,39	48,18	59
40	1,17	2,27	48,71	58
Resíduo de vermiculita				
0	1,25	2,40	48,04	56
10	1,27	2,52	49,76	57
20	1,24	2,45	49,20	51
30	1,29	2,33	44,79	61
40	1,24	2,41	48,76	57

DS: Densidade aparente; DP: densidade de partículas; Pt: porosidade total; CRA: capacidade de retenção de água;

Aos 45 dias após a semeadura, foram avaliadas as seguintes variáveis: altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), índice de área foliar (IAF), percentagem de sobrevivência (PS) e número de folhas (NF). O diâmetro do caule foi avaliado a cinco cm do colo da planta por meio de um

paquímetro digital. O IAF foi estimado utilizando-se um Ceptômetro (AccuPAR modelo LP-80). As leituras foram realizadas no intervalo do meio-dia às treze horas da tarde. Posteriormente as plantas foram separadas em folhas, caule e raízes, as quais foram secas em estufa de circulação forçada de ar entre 60°C a 65°C para a obtenção da massa seca de folhas (MSF), do caule (MSC) e de raízes (MSR).

O índice de qualidade de Dickson (IQD) é um indicador da qualidade de mudas, e foi determinado através da relação da massa seca total (MST) pela altura da planta (AP), diâmetro caulinar (DC), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), por meio da seguinte fórmula (DICKSON *et al.*, 1960):

$$\frac{MST(g)}{\frac{AP(cm)}{DC(mm)} + \frac{MSPA(g)}{MSR(g)}} \quad \text{Equação (1)}$$

Os dados obtidos para cada variável foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias pelo teste Tukey para as proporções de resíduo de mineração. As análises estatísticas foram realizadas ao nível de 5% de significância utilizando-se o *software* estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Os dados dos atributos físicos e químicos do solo foram correlacionados com os dados de crescimento e qualidade das plantas. As análises de correlação foram realizadas ao nível de 10% utilizando-se o *software* SIGMAPLOT 11.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme o resumo da análise de variância (Tabela 3), dentre as variáveis avaliadas, apenas o número de folhas por planta e a percentagem de sobrevivência não foram influenciados pelas proporções de ambos os resíduos testados.

Tabela 3 - Quadrado médio da análise de variância para altura de planta (ALT), diâmetro do colo (DIAM), número de folhas (NF), percentagem de sobrevivência (PS), índice de área foliar (IAF), massa seca de folhas (MSF), massa seca de raízes (MSR), massa seca de caule (MSC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), razão parte aérea: raiz (PA:R) e índice de área foliar (IAF).

Experimento com resíduo de caulim							
FV	GL	ALT	DIAM	NF	PS	IAF	MSF
Proporções	4	140,338758**	2,404308**	0,210180ns	1,875000ns	0,283392**	7,974255**
Erro	15	4,286410	0,337310	0,572385	0,816667	0,013810	0,737565
CV (%)	-	10,67	9,79	15,18	12,46	23,41	25,56
Experimento com resíduo de vermiculita							
		MSR	MSC	MSPA	MST	IQD	
Proporções	4	0,702955**	14,467542**	43,745388**	54,827442**	0,317465**	
Erro	15	0,096340	1,215590	2,261202	2,082635	0,025942	
CV (%)	-	25,69	31,84	22,04	17,97	18,32	

		ALT	DIAM	NF	PS	IAF	MSF
Proporções	4	171,330208**	1,853007*	0,455470ns	0,425000ns	0,175480**	10,574125**
Erro	15	6,152523	0,407988	0,197438	0,166667	0,027825	0,835967
CV (%)	-	11,47	10,39	9,33	5,30	42,72	24,78
		MSR	MSC	MSPA	MST	IQD	
Proporções	4	0,507442*	9,209742**	35,678168**	42,206988**	0,203450**	
Erro	15	0,170368	0,922262	2,330868	1,760823	0,033257	
CV (%)	-	29,39	24,68	20,14	14,77	18,87	

** , * e ns: significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

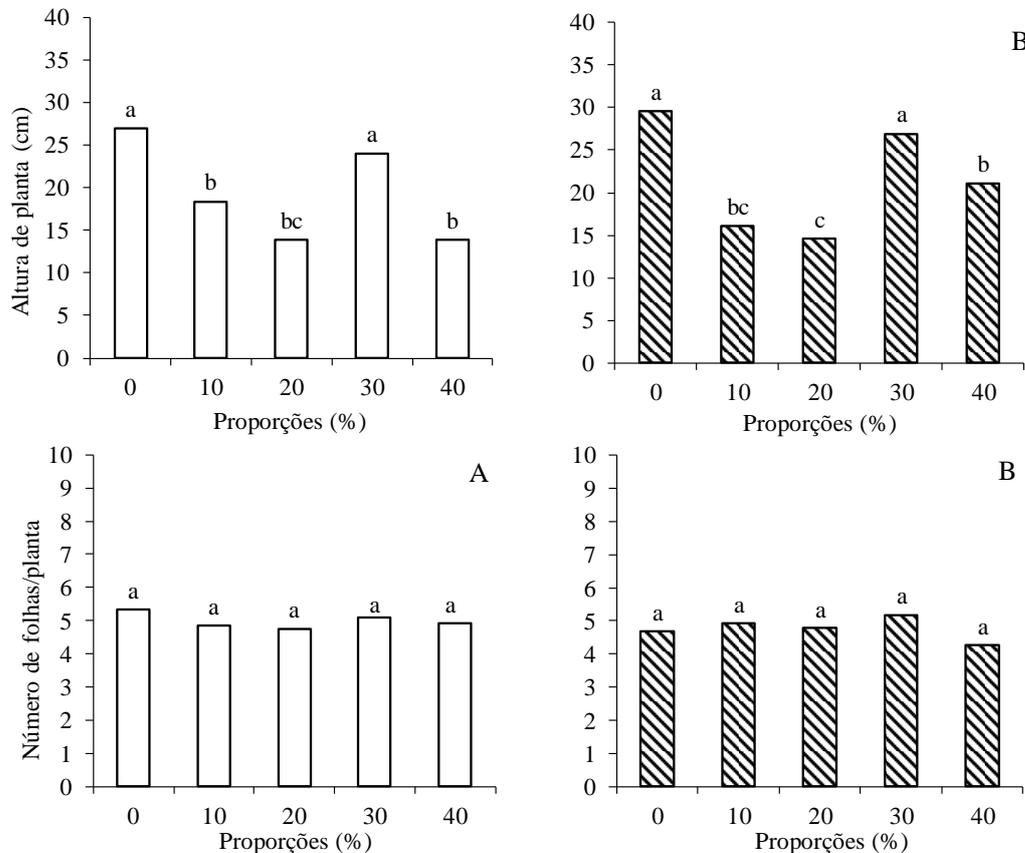
Para a altura de planta (Figura 2), em ambos os experimentos, observou-se que o substrato composto por 30% de resíduo de caulim (A) ou composto por 30% de vermiculita (B) proporcionou valores semelhantes ao tratamento sem adição de resíduo de mineração. Para esta variável, este fato indica que ambos os resíduos podem ser utilizados em substituição à 30% do volume de solo utilizado na produção destas mudas.

A altura de planta obtida no tratamento 30% de ambos os resíduos, esteve em torno de 28 cm. Este valor é superior aos obtido por Mesquita *et al.* (2012) e Guedes *et al.* (2018) em mudas de mamoeiro 'formosa', cultivados em condições ambientais semelhantes. Como já mencionado, o número de folhas por planta não variou significativamente entre as proporções de ambos os resíduos de mineração testados (Figura 2).

Em outros trabalhos, contudo, o número de folhas por planta foi variável dependendo da composição do substrato (Rocha *et al.*, 2017). Não obstante, nem sempre ocorre relação direta entre número de folhas e a massa seca de folhas, pois, as plantas podem diminuir a área foliar, sob condições de restrição de água e nutrientes, mas sem diminuir o número total de folhas (Taiz *et al.*, 2017).

Desta forma, no presente trabalho, possivelmente, nos tratamentos com proporções de 10, 20 e 40% de resíduo de mineração, as mudas produziram o mesmo número de folhas como resposta as piores condições de crescimento, para manter a sua taxa fotossintética semelhante às demais plantas (Figura 2 A e B). Os valores para número de folhas foram semelhantes aos obtidos por Rocha *et al.* (2017) no mesmo período de cultivo e inferiores aos obtidos por Mesquita *et al.* (2012) cujos valores obtidos foram superiores a 12 folhas por planta. Contudo, neste último trabalho, as mudas de mamoeiro formosa tinham 63 dias após o transplântio.

Figura 2 - Altura de plantas e número de folhas de mudas de mamoeiro do grupo 'Formosa' em função de proporções de resíduo de caulim (A) e de vermiculita (B) na composição do substrato. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.



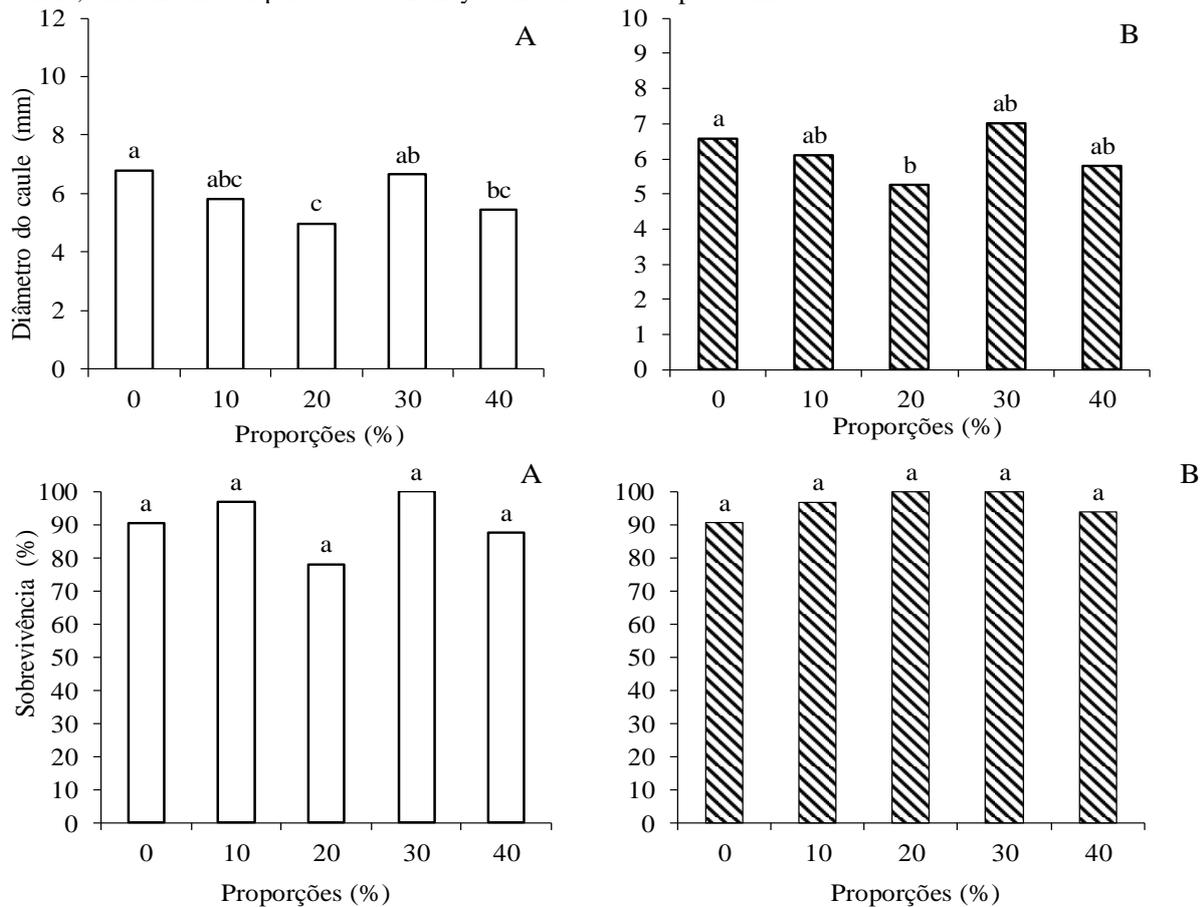
Para o diâmetro do caule (Figura 3), os menores valores foram obtidos com a proporção de 20% de resíduo de caulim (A) ou com 20% de resíduo de vermiculita (B). Em geral, os valores desta variável estiveram entre 5 mm e 7 mm, semelhantes aos obtidos por Sarmiento *et al.* (2015) em mudas de mamoeiro 'formosa' com 63 dias após o transplante, respectivamente.

O diâmetro do caule é um parâmetro de fundamental importância relacionado com a capacidade de sobrevivência e desenvolvimento da muda no campo. Neste sentido, Costa *et al.* (2010) destacam que mudas altas e com pequeno diâmetro de coleto podem tombar facilmente ou morrer após o plantio no campo.

A percentagem de sobrevivência das mudas não foi afetada significativamente pelos tratamentos testados (Figura 3). Em média a sobrevivência das mudas com o resíduo de caulim (A) foi de 90,6% e com o resíduo de vermiculita (B) foi de 96,3%. Este parâmetro é de fundamental importância, tendo em vista que o preço de comercialização da muda de uma determinada espécie depende do número de plantas por unidade de área do viveiro.

Embora a comparação entre os resíduos não tenha sido objeto deste estudo, este fato indica que os resíduos de vermiculita, possivelmente proporcionaram melhores condições físicas e químicas para o crescimento e desenvolvimento das mudas. Para este parâmetro, cabe destacar ainda que a taxa de sobrevivência de mudas após a emergência, além da qualidade do substrato, também pode ser afetada pela qualidade da semente e pelas condições ambientais.

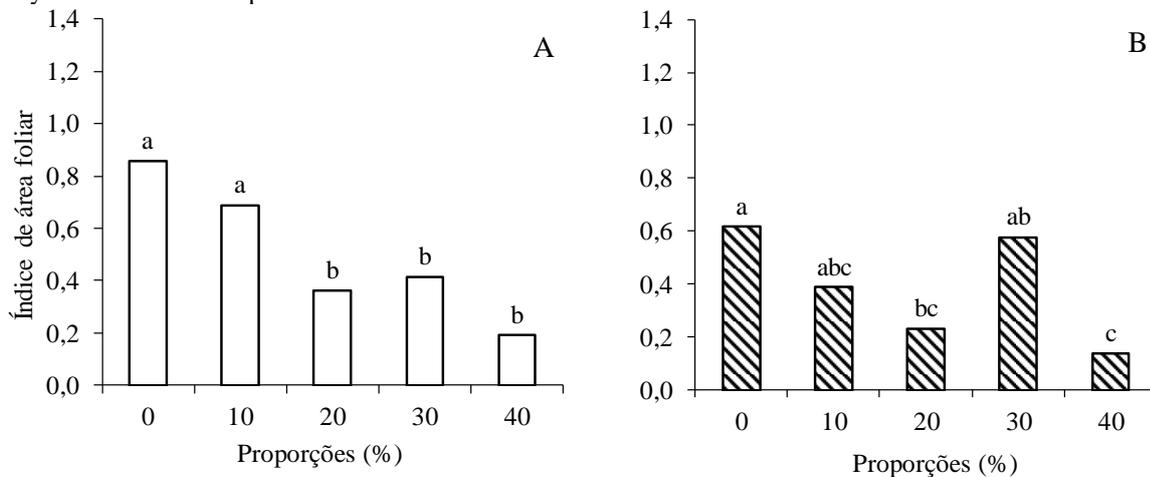
Figura 3 - Diâmetro de caule e percentagem de sobrevivência em mudas de mamoeiro do grupo 'Formosa' em função de proporções de resíduo de caulim (A) e de vermiculita (B) na composição do substrato. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.



O índice de área foliar (IAF) no experimento (Figura 4) com resíduo de caulim (A), foi inferior nas proporções acima de 20%, e superior nas proporções 0 e 10%, os quais não diferiram entre si. No segundo experimento, por outro lado, a proporção de 30% de resíduo de vermiculita (B) foi semelhante à obtida na proporção de 0%, ou seja, na ausência de resíduo. O índice de área foliar expressa a relação entre a área ocupada pelas folhas da planta em relação à área do ambiente por ela sombreada, sendo um parâmetro biofísico que determina a produtividade das culturas (SANQUETTA *et al.*, 2014).

Embora a proporção de 30% de caulim tenha favorecido o crescimento em altura das mudas no experimento com caulim, o mesmo não ocorreu com o índice de área foliar. Ressalta-se que o índice de área foliar no presente trabalho, foi estimado pelo método do Ceptômetro, o qual utilizado o princípio da interceptação da radiação solar pelas folhas. Assim, fatores como o ângulo de inclinação das folhas podem afetar esta variável, e não refletir necessariamente, o crescimento e a produção de massa seca das folhas das plantas (REIS *et al.*, 2013).

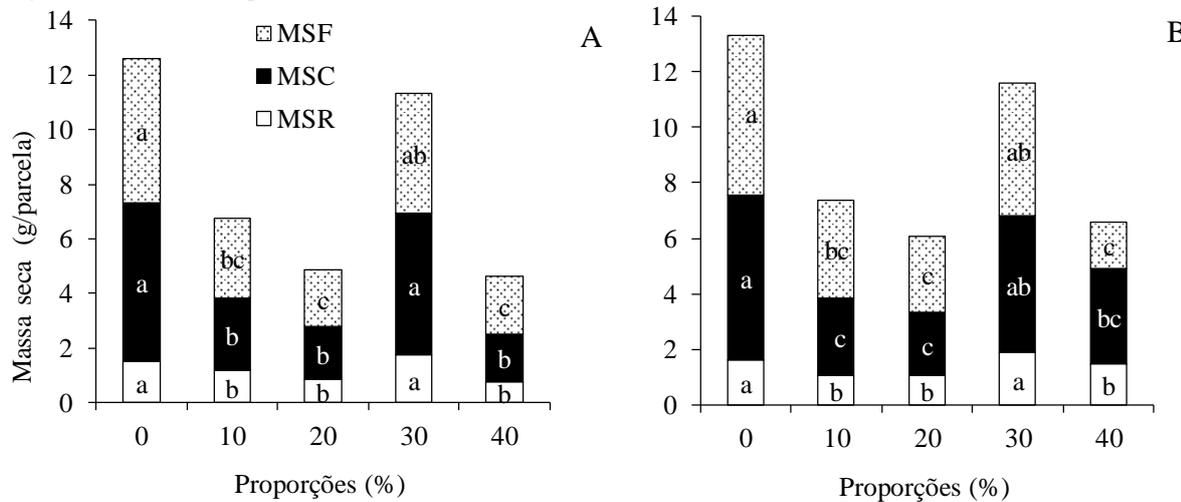
Figura 4 - Índice de Área Foliar de mamoeiro do grupo 'Formosa' em função de proporções de resíduo de caulim (A) e de vermiculita (B) na composição do substrato. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.



A massa seca de raízes, de caule, de folhas, e total em ambos os experimentos (Figura 5) foi superior nas proporções de 0% e 30% dos resíduos de mineração, corroborando com o crescimento em altura das plantas (Figura 2). Apesar de não ter sido comparado estatisticamente, ocorreu uma similaridade na produção de massa seca total entre os tipos de resíduos avaliados, indicando que o potencial de ambos os resíduos como componente de substrato para mudas de mamoeiro é semelhante. Os valores obtidos de massa seca, para todas as partes da planta foram semelhantes aos obtidos por Guedes *et al.* (2018) em mudas de mamoeiro do grupo formosa com 40 dias de idade.

Embora tenha havido diferenças nos atributos químicos e físicos dos substratos, em razão das proporções dos resíduos de mineração utilizados, não é possível estabelecer uma relação direta destes atributos com o crescimento e a produção de massa seca das plantas. Contudo, na proporção de 30%, especialmente do resíduo de vermiculita, o substrato apresentou uma ligeira superioridade na capacidade de retenção de água (Tabela 2), o que poderia explicar em parte os efeitos positivos desta proporção sobre as mudas (B).

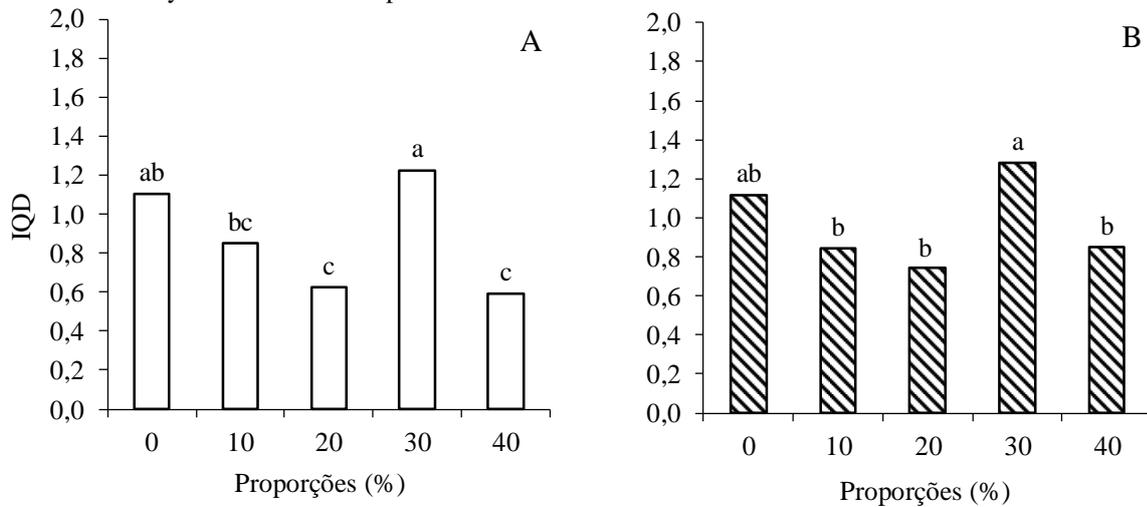
Figura 5 - Massa seca de raízes (MSR), massa seca de caule (MSC), massa seca de folhas (MSF) e total (MSR+MSC+MSF) de mudas de mamoeiro do grupo 'Formosa' em função de proporções de resíduo de caulim (A) e de vermiculita (B) na composição do substrato. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.



O índice de qualidade de Dickson (IQD) seguiu a tendência observada para a produção de massa seca total, ou seja, para ambos os resíduos, as proporções de 0% e 30% foram superiores em relação aos demais tratamentos, mas semelhantes entre si (Figura 6). Os valores desta variável oscilaram de 0,74 a 1,12 para o resíduo de caulim (A) e de 0,59 a 1,22 para o resíduo de vermiculita (B). O IQD tem sido considerado como um bom indicador da qualidade das mudas, por considerar a robustez e o equilíbrio da distribuição da fitomassa, sendo levados em consideração, para o seu cálculo, vários parâmetros morfológicos importantes, como altura, diâmetro do coleto e massa seca das plantas (RODRIGUES *et al.*, 2014).

Os valores de IQD obtidos no presente trabalho são semelhantes aos obtidos por Souza *et al.* (2015) em mudas de mamão cultivar 'Sunrise Solo', com 65 dias após a semeadura. Em mudas de mamão formosa de 52 dias após a semeadura, Guedes *et al.* (2018), obtiveram valores IQD variando de 0,40 a 0,60, ou seja, bem abaixo dos obtidos no presente trabalho.

Figura 6 - Índice de qualidade de Dickson (IQD) de mamoeiro do grupo 'Formosa' em função de proporções de resíduo de caulim (A) e de vermiculita (B) na composição do substrato. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.



Pela análise de correlações entre os atributos químicos do substrato e as variáveis da (Tabela 3), houve correlação significativa positiva entre os teores de cálcio no substrato com a altura de planta, massa seca de raízes, massa seca total e índice de qualidade de Dickson. O cálcio é um elemento essencial para as plantas e está envolvido na divisão celular, atuando principalmente como componente de pectatos de cálcio da lamela média na parede celular, sendo fundamental, portanto, para o crescimento da planta (MARSCHNER, 2012).

Por outro lado, houve correlação significativa negativa entre os teores de sódio trocável no substrato com os valores de índice de área foliar e com a massa seca de folhas. O sódio é considerado um elemento tóxico para a maioria das plantas, podendo causar efeitos nutricionais negativos como a diminuição da absorção de nutrientes catiônicos como o Ca, Mg e K, por inibição competitiva e toxidez direta, causando seca das folhas e diminuição da taxa de crescimento (TAIZ & ZEIGER, 2013).

O pH apresentou correlação significativa positiva com a altura de planta e com a produção de massa seca de raízes, tal como ocorreu para o cálcio. Este fato deve-se, provavelmente, a influência direta do pH sobre a disponibilidade de Ca para as plantas, assim como o aumento da disponibilidade de outros nutrientes como Mg, S, P, Mo e B (NOVAIS *et al.*, 2007), embora no presente trabalho não tenha sido observado correlação significativa entre os teores de P e Mg com as variáveis avaliadas nas plantas.

Tabela 4 - Coeficientes de correlação simples de Person entre os atributos químicos do substrato e as variáveis avaliadas nas mudas de mamoeiro.

	CE	M.O	P	Ca	Mg	Na	K	CTC	pH
Altura	0,292	0,208	0,308	0,730*	-0,107	-0,438	-0,020	0,169	0,603*
Diâmetro	0,372	0,195	-0,271	0,448	-0,263	-0,268	0,112	-0,063	0,533
NF	0,080	-0,111	0,185	-0,212	-0,554	-0,259	0,475	-0,561	0,417
PS	0,350	-0,311	-0,343	-0,028	-0,322	0,215	0,079	-0,237	0,060
IAF	-0,270	0,307	0,403	0,342	-0,173	-0,826**	-0,115	-0,156	0,540
MSF	0,324	0,251	0,561	0,383	-0,521	-0,583°	-0,041	-0,325	0,437
MSR	0,299	0,048	0,048	0,703*	-0,048	-0,204	0,058	0,221	0,602*
MSC	0,324	0,146	0,314	0,643°	-0,258	-0,419	0,050	0,019	0,503
MST	0,335	0,187	0,405	0,564°	-0,360	-0,484	0,013	-0,107	0,507
MSPA	0,333	0,201	0,443	0,536	-0,392	-0,510	0,007	-0,146	0,485
IQD	0,315	0,087	0,179	0,574°	-0,236	-0,305	0,052	-0,003	0,570

CE: Condutividade elétrica do extrato de saturação; MO: matéria orgânica; P: ter de fósforo disponível; CTC: capacidade de troca de cátions; NF: número de folhas; Percentagem de sobrevivência; IAF: índice de área foliar; MSR: massa seca de raízes; MSC: massa seca de caule; MST: massa seca total; MSPA: massa seca da parte aérea; IQD: índice de qualidade de Dickson. **, * e °: Significativo ao nível de 1%, 5% e 10%, respectivamente, pelo teste t.

Em relação aos atributos físicos do substrato, observou-se correlações positivas entre densidade do substrato e o número de folhas e entre capacidade de retenção de água e diâmetro do coleto, massa seca de raízes e índice de qualidade de Dickson (Tabela 5). Contudo, houve correlação negativa entre a porosidade total e as variáveis massa seca de caule, massa seca total e massa seca da parte aérea. Este fato indica que o aumento de porosidade total do substrato não necessariamente promoverá um aumento da retenção de água, o que é corroborado pela relação direta entre a densidade global do substrato e a capacidade de retenção de água.

Assim, provavelmente, nos tratamentos com maior densidade houve um aumento da proporção de microporos e, portanto, uma maior capacidade de retenção de água, favorecendo a produção de massa seca pelas plantas.

Tabela 5 - Coeficientes de correlação simples de Person entre os atributos físicos do substrato e as variáveis avaliadas nas mudas de mamoeiro.

	DS	DP	Pt	CRA
Altura	0,253	-0,203	-0,420	0,533
Diâmetro	0,382	-0,160	-0,542	0,627*
NF	0,678*	0,340	-0,317	0,174
NP	0,077	-0,332	-0,410	0,733
IAF	0,582	0,519	-0,028	0,046
MSF	0,525	0,005	-0,525	0,347
MSR	0,177	-0,353	-0,524	0,703*
MSC	0,304	-0,263	-0,565°	0,511
MST	0,399	-0,168	-0,567°	0,484
MSPA	0,419	-0,141	-0,562°	0,447
IQD	0,383	-0,220	-0,603°	0,659*

DS: Densidade aparente; DP: densidade de partículas; Pt: porosidade total; CRA: capacidade de retenção de água; NF: número de folhas; NP: número de plantas; IAF: índice de área foliar; MSR: massa seca de raízes; MSC: massa seca de caule; MST: massa seca total; MSPA: massa seca da parte aérea; IQD: índice de qualidade de Dickson. * e °: Significativo ao nível de 5% e 10%, respectivamente, pelo teste t.

4 CONCLUSÕES

Mudas de mamoeiro do grupo formosa podem ser produzidas com substrato contendo 30% de resíduo de mineração de caulim ou vermiculita + 45% de solo + 25% de esterco bovino.

A substituição de 30% do volume de solo por resíduo de mineração de caulim ou de vermiculita, proporciona produção de massa seca e a qualidade de mudas de mamoeiro formosa semelhantes quando produzidas em substrato padrão;

Os teores de Ca, pH e capacidade de retenção de água do substrato se correlacionam positivamente com o crescimento e qualidade das mudas de mamoeiro, enquanto os teores de sódio e a porosidade total se correlacionaram de forma negativa, quando submetidos aos resíduos minerais de caulim e vermiculita.

REFERÊNCIAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Dados pluviométricos**. 2012. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/?formdate=2019-05-19&produto=municipio&periodo=anual>. Acesso em 5 de março de 2020.
- BARDIVIESSO, E.M.; COSTA, E.; BARCELOS, M.N.; BARDIVIESSO, D.M.; MURAKAMI, L.F. (2014) Crescimento de berinjela verde em diferentes substratos. Cassilândia. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 1, n.1, p.17-25. <http://doi.org/10.32404/rean.v1i1.217>

- BERTOLINO, L.C.; TOREM, M.L.; SCORZELLI, R.B.; ROSSI, A.M. (2012) caracterização mineralógica e beneficiamento do caulim de prado (BA). *Revista Holos*, Rio de Janeiro, v. 05, n. 1, p. 83-92. <https://doi.org/10.15628/holos.2012.1161>
- CARVALHO, E.M.L.; REIS, R.C.; BORGES, V.P.; LEDO, C.A.S.; ARAÚJO, E.S.; DANTAS, J.L.L. (2020) Physicochemical and sensory properties of papaya fruits of elite lines and hybrids. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 41, n. 1, p. 121-130. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n1p121>
- COSTA, E.; LEAL, P.A.M.; SANTOS, L.C.R.; VIEIRA, L.C.R. (2010) Crescimento de mudas de mamoeiro conduzidas em diferentes ambientes protegidos, recipientes e substratos na região de Aquidauana, Estado do Mato Grosso do Sul. *Acta Scientiarum Agronomy*. v. 32, n. 3, p. 463-470. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v32i3.4449>
- DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. (1960) Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicles, Mattawa*, v. 36, p. 10-13, <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- FERREIRA, F. (2011) SISVAR: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*. v. 35, n. 6, p. 1039-1042. <http://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- FRANÇA, S.C.A.; LUZ, A.B.; SANTOS, J.S.; BORGES, E.R.S. Estudo da aplicação de resíduos de vermiculita como fertilizante alternativo de potássio. Anais In *II SIMPÓSIO DE MINERAIS INDUSTRIAIS DO NORDESTE*, Campina Grande: Anais. 2010, p 125-131
- GUEDES, W.A.; ARAÚJO, R.H.C.R.; ROCHA, J.L.A.; LIMA, J.F.; DE, DIAS, G.A.; OLIVEIRA, ÁGDA M.F.; LIMA, R.F.; OLIVEIRA, L.M. (2018). Production of Papaya Seedlings Using *Spirulina platensis* as a Biostimulant Applied on Leaf and Root. *Journal of Experimental Agriculture International*, v. 28, n. 1, p. 1-9. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/45053>
- LEANDRO, A.P.; VIEIRA, E.V.; LIMA, L.G.; ARAÍDE, T.N. (2017) Estudo do resíduo de caulim pegmatítico usado como ingrediente na formulação de cimento portland. *Holos*, v.6, n.33, p.224-232. <https://doi.org/10.15628/holos.2017.6601>
- LEITE, M.J.H.; BAKKE, O.A.; (2018) Uso de coprodutos da extração de vermiculita na produção de mudas de faveleira (*Cnidocolus quercifolius* Pohl.). *holos*, v. 03, n. 34, p. 71-80. <http://doi.org/10.15628/holos.2018.5863>

- LEITE, M.J.H.; GOMES, A.D.V.; SANTOS, R.V.; ARAUJO, J.L. (2016) Crescimento do maracujazeiro amarelo em função de gesso e compostos com rejeitos de mineralização aplicados em solo salinizado. *Nativa*, v. 4, n. 6, p. 353-359. <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v04n06a02>
- LIMA, C.S.M.; GONÇALVES, M.A.; TOMAZ, Z.F.P.; RUFATO, A.R.; FACHINELLO, J.C. (2010) Sistemas de tutoramento e épocas de transplante de *Physalis*. *Ciência Rural*, v. 40, n.12, p. 2472-2479. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010001200006>.
- MARCOS, C.; RODRÍGUEZ, I. (2013). Exfoliation of vermiculites with chemical treatment using hydrogen peroxide and thermal treatment using microwaves. *Applied Clay Science*, v. 87, p. 219-227. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2013.11.008>
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 3 rd edition. London: ed. Elsevier. 2012, 672 p
- MESQUITA, E.F.; CHAVES, L.H.G.; FREITAS, B.V.; SILVA, G.A.; SOUSA, M.V.R.; ANDRADE, R. (2012) Produção de mudas de mamoeiro em função de substrato contendo esterco bovino e volumes de recipientes. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. v. 07, n.1, p. 58–65. <http://doi.org/10.5039/agraria.v7i1a1448>
- MULLER, N.G.; FASOLO, D.; PINTO, F.P; BERTÊ, R.; MULLER, F.C. (2013) Potencialidades fitoquímicas do melão (*Cucumis melo* L.) na região Noroeste do Rio Grande do Sul – Brasil. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*. v. 15, n. 2, p. 194-198. <http://doi.org/10.1590/S1516-05722013000200005>
- NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007 Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1017p.
- ONO, E.O.; JÚNIOR, G.; RODRIGUES, J.F. (2014) Reguladores vegetais na quebra de dormência apical do mamoeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*. v. 26, n. 2, p. 348-350. <http://doi.org/10.1590/S0100-29452004000200040>
- PEREIRA, W.E.; SOUSA, G.; ALENCAR, M.L.; MENDONÇA, R.M.N.; SILVA, G.L. (2008) Crescimento de mudas de mamoeiro em substratos contendo caulim. *Revista Verde*, (Mossoró – RN – Brasil) v.3, n1. p 27-35.
- REIS, L.S.; AZEVEDO, C.A.V.; ALBUQUERQUE, A.W.; JUNIOR, J.F.S. (2013) Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 4, p. 386-391.

- RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J.C.; REZENDE, S.B. (2012) Mineralogia de solos brasileiros: Interpretação e aplicações. *Revista Brasileira Ciências Agrárias*. v. 7, n. 1, p. 58-65.
- ROCHA, R.H.C.; LIMA, J.F.; LIMA, J.F.; FORTUNATO, T.C.S; JUNIOR, F.J.M.; GUESDES, W.A.; ALMEIDA, R.S. (2017) Biomassa e fisiologia de mudas de mamoeiro produzidas sob adubação foliar com *Spirulina platensis*. *Revista Científica*. v. 45, n. 4, p. 398-405. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n4p398-405>
- RODRIGUES R.D.; FREIRE A.L.O.; NETO J.H.N. (2014) Uso de rejeitos de mineração e materiais orgânicos na composição de substrato para produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.). *Revista Engenharia Ambiental*, v. 11, n. 1, p. 16-27.
- SANQUETTA, C.R.; CORTE, A.P.D.; BEHLING, A.; CARDORI, G.C.; JUNIOR, S.C.; RUZA, M.S. (2014) Crescimento de área e índice de área foliar de mudas de *Eucalyptus dunii* Maiden. em diferentes condições de cultivos. *Revista Biociências*, v. 20, n. 2, p. 82-89.
- SARMENTO, H.G.S.; DAVID, A.M.S.S.; BARBOSA, M.G.; NOBRE, D.A.C.; AMARO, H.T.R. (2015) Determinação do teor de água em sementes de milho, feijão e pinhão-mansão por métodos alternativos. *Energia na Agricultura*. v. 30, n. 3, p. 249-256. <http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n3p250-256>
- SILVA, W.L.; BRITO, A.S.; BRITO, C.F.B.; MESQUITA, N.L.S.; SILVA, Y.C.P. (2016) Desenvolvimento de maracujazeiro em recipientes e substratos a base de resíduo de vermiculita. *Revista Agrotecnologia*, Ipameri, v. 7, n. 2, p. 53-60. <https://doi.org/10.12971/2179-5959/agrotecnologia.v7n2p53-60>
- SOUSA, L.D.A.; MACHADO, A.O.D.V.; LEITE, J.Y.P. Liberação de potássio a partir de rejeito de vermiculita. In: *XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa (ENTMME)*, anais. Salvador, 2011, p. 1120-1127.
- SOUZA, R.R.; MATIAS, S.S.R.; SILVA, R.R.; SILVA, R.L.; BARBOSA, J.S.M. (2015) Qualidade de mudas de mamão produzidas em substrato com esterco caprino e doses de superfosfato simples. *Agrarian*. v. 8, n. 28, p. 139-146.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5.ed. Porto Alegre: ed. Artmed, 2013, 952 p
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: ed. Artmed. 2017, 888 p