



**Uso de Rejeito de Mineração de Calcário
Ornamental para a Correção de Acidez do Solo e Desenvolvimento de Plantas**
Use of Ornamental Limestone Mining Tailings to Correction Soil Acidity and Plant Development

Victor Viana Vasques¹; Ítalo Felix Dias²; Julius Blum²;
Afonso Rodrigues de Almeida¹ & Christiano Magini¹

¹ Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia,
Av. Mister Hull, 2977, Bloco 913, Caixa Postal 6030, Campus do Pici, Fortaleza/CE, 60440-554, Brasil

² Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo,
Av. Mister Hull, 2977, Bloco 807, Caixa Postal 12168, Campus do Pici, Fortaleza/CE, 60440-554, Brasil

E-mails: victor_vasques88@hotmail.com; italofelix92@gmail.com; jblum@ufc.br; almeida@ufc.br; magini2005@hotmail.com

Recebido em: 20/11/2018 Aprovado em: 26/02/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_169_177

Resumo

No município de Nova Olinda – CE, a extração de calcário para fins ornamentais, denominado Pedra Cariri, vem causando uma série de impactos ambientais por conta da elevada geração e estoque de rejeitos na localidade. O objetivo desta pesquisa foi verificar a eficiência desse resíduo como corretor de acidez de solo e no desenvolvimento de plantas de alface. O experimento foi realizado em duas etapas: a primeira constituiu-se da incubação de 5 dm³ de solo em vasos durante três meses, com doses do pó do rejeito da Pedra Cariri equivalentes a 0%, 50%, 100% e 200% da dose recomendada para a elevação da saturação por bases do solo para 60%, e mais uma dose equivalente à 100% da dose recomendada, porém utilizando um calcário calcítico comercial. A segunda etapa do experimento consistiu no cultivo de alface cv Lucy Brown nos vasos com solo previamente corrigido pela calagem. O pó do rejeito da Pedra Cariri tem potencial para ser comercializado como insumo agrícola, visto que ocasionou elevação do pH e dos teores de Ca do solo, redução dos teores de acidez trocável, acidez potencial e, conseqüentemente, diminuição da saturação por alumínio e aumento da saturação por bases, não diferindo da ação do calcário calcítico comercial. Os resultados das análises de desenvolvimento da alface não foram significativos, onde a alface não alcançou seu potencial produtivo. Ainda assim, o pó do rejeito não apresentou efeitos tóxicos que prejudicassem o desenvolvimento da planta.

Palavras-chave: Resíduo; Calcário; Calagem; Alface

Abstract

In the municipality of Nova Olinda - CE, the extraction of limestone for ornamental purposes, denominated Pedra Cariri, has been causing a series of environmental impacts due to the high generation and stock of tailings in the locality. The objective of this research was to verify the efficiency of this residue as a soil acidity broker and in the development of lettuce plants. The experiment was carried out in two stages: the first consisted of the incubation of 5 dm³ of soil in pots during three months, with doses of the powder from the Pedra Cariri tailing equivalent to 0%, 50%, 100% and 200% of the recommended dose for the elevation of soil base saturation to 60%, and a dose equivalent to 100% of the recommended dose, but using commercial calcitic limestone. The second stage of the experiment consisted in the cultivation of cv Lucy Brown lettuce in pots with soil previously corrected by liming. The powder from the Pedra Cariri tailing has potential to be commercialized as an agricultural input, because it caused elevation of the pH and Ca soil contents, reduction of exchangeable acidity, potential acidity and, consequently, decrease of aluminum saturation and increase of base saturation, not differing from the action of commercial calcitic limestone. The results of analyzes of lettuce development were not significant, where lettuce did not reach its productive potential. Nevertheless, the tailings powder had no toxic effects that would impair the development of the plant.

Keywords: Residue; Limestone; Liming; Lettuce

1 Introdução

Tendo sua exploração se iniciado ainda no século XIX, a mineração da chamada Pedra Cariri é hoje a principal atividade econômica dos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, no Ceará. Esses municípios são responsáveis por 15% da produção de rochas ornamentais e de revestimento do estado do Ceará (Vidal, 2010).

A rocha lavrada na região é um calcário fosilífero pertencente ao Membro Crato da Formação Santana, que é estratigraficamente a mais complexa da Bacia do Araripe e foi formado a cerca de 120 milhões de anos (Assine, 1992). Estima-se que existam cerca de 97 milhões de metros cúbicos de rocha na região (Vidal & Padilha, 2003).

Estima-se que as perdas ao longo da cadeia produtiva da Pedra Cariri, que vai da lavra ao beneficiamento, sejam em torno de 70% (Vidal & Padilha, 2003). Os volumes de rejeito, acumulados até o ano de 2006, eram de 755.000,00 m³ em Nova Olinda e 275.000,00 m³ em Santana do Cariri, formando um total de 1.030.000,00 m³ de rejeito de calcário estocados nas minas (Vidal *et al.*, 2006).

Os principais problemas ambientais oriundos dessa atividade estão relacionados à retirada do capeamento de estéril, em muitos casos espesso; às pilhas de rejeitos provenientes da lavra e os resíduos sólidos do beneficiamento; à erosão das encostas e áreas desmatadas; e ao assoreamento de riachos e do rio Cariús, principal rio da região (Castro *et al.*, 2007).

Para reduzir esses impactos ambientais é necessário o estudo e desenvolvimento de alternativas para a utilização desses rejeitos, oferecendo alternativas de utilização para esses materiais.

Na agricultura, os calcários são utilizados para a melhoria das condições do solo, principalmente pela elevação do pH, neutralização do Al trocável, fornecimento de Ca e de Mg, além de influenciar na disponibilidade de outros nutrientes, caracterizando um insumo de vital importância para o desenvolvimento das culturas (Kaminski, 1989).

A alface é uma cultura sensível a acidez do solo, desenvolvendo-se melhor em solo com faixa de pH entre 6 e 6,8 (Maynard & Hochmuth, 2007). Frequentemente utiliza-se a fertilização e correção do

solo para alcançar tais condições, contribuindo para uma maior produção, qualidade e principalmente uniformidade do produto (Tanamati, 2012).

O uso de rejeitos calcários de mineração para a correção da acidez do solo pode constituir uma alternativa para poupar recursos naturais e dar destino adequado a esses resíduos potencialmente danosos ao ambiente (Prado *et al.*, 2002; Balbinot Junior *et al.*, 2006).

Desse modo, o objetivo desta pesquisa foi verificar a eficiência do resíduo de mineração de Pedra Cariri como corretor de acidez de solo e no desenvolvimento de plantas de alface.

2 Material e Métodos

O experimento foi realizado em duas etapas: (i) calagem e incubação do solo em vasos de 5 dm³ por 3 meses e (ii) cultivo de alface nos mesmos vasos com solo após o tempo de reação do calcário. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados, com 5 tratamentos e 5 repetições.

Os tratamentos consistiram de: tratamento 1 (T1), ou tratamento controle, sem calcário; tratamento 2 (T2), com 50% da dose recomendada (DR) do rejeito da Pedra Cariri; tratamento 3 (T3), com 100% da DR do rejeito da Pedra Cariri; tratamento 4 (T4), com 200% da DR do rejeito da Pedra Cariri; e tratamento 5 (T5), com 100% da DR, porém utilizando um calcário calcítico obtido comercialmente. A DR foi definida a partir da análise inicial do solo com objetivo de elevar a saturação por bases desse solo para 60%.

O rejeito da Pedra Cariri utilizado no experimento foi coletado na mina de extração da Pedra Cariri localizada no município de Nova Olinda (figura 1).

2.1 Coleta e Caracterização do Solo

O solo empregado no estudo foi coletado em uma área de reconstituição de vegetação arbórea do Grupo de Estudos e Práticas em Permacultura (GEPPe), no interior do Campus do Pici/UFC, em Fortaleza – CE. Foram coletadas 5 amostras do horizonte superficial desse solo, a até 20 cm de profundidade, que posteriormente foram homogeneizadas

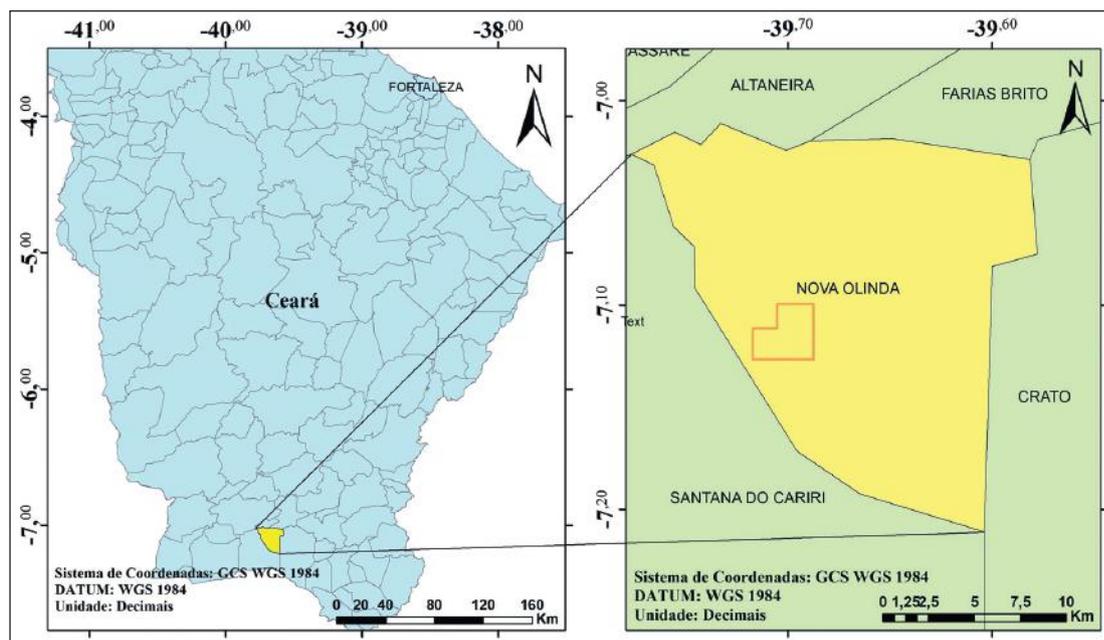


Figura 1 Mapa de localização da mina de extração da Pedra Cariri no município de Nova Olinda-CE. Em vermelho, a área da mina.

e analisadas. Esse solo foi selecionado com base em sua acidez ativa, apresentando pH igual à 5,04.

A caracterização física e química do solo foi determinada de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997). Nas análises físicas foram determinados a granulometria (teores de areia, silte e argila) pelo método da pipeta (Gee & Or, 2002), e a densidade aparente do solo pelo método do anel volumétrico, conforme metodologia de Donagema *et al.* (2011). Nas análises químicas: Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{H} + \text{Al}$ e Al^{3+} foram determinados em extrato de KCl 1 mol L^{-1} ; K^+ e Na^+ foram determinados em HCl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. A concentração de N total foi determinada pelo método semimicro Kjeldahl em extratos de digestão sulfúrica. O carbono orgânico foi determinado de acordo com o método descrito por Yeomans & Bremmer (1988), que é realizada uma oxidação da matéria orgânica por via úmida com dicromato de potássio na presença de ácido sulfúrico e aquecimento externo, e titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal.

Os resultados da caracterização físico-química do solo estão apresentados na tabela 1.

2.2 Caracterização da Rocha Calcária e Recomendação de Calagem

A caracterização química do resíduo calcário coletado em Nova Olinda foi realizada previamente

Característica	Valor
Areia grossa (g kg^{-1})	429
Areia fina (g kg^{-1})	359
Silte (g kg^{-1})	132
Argila (g kg^{-1})	106
Argila natural (g kg^{-1})	30
Densidade do solo (g cm^{-3})	1,44
Densidade de partículas (g cm^{-3})	2,74
pH (água)	5,04
Cálcio ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	13,8
Magnésio ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	6,8
Sódio ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,12
Potássio ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,58
H + Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	23,8
Alumínio ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,6
Carbono (g kg^{-1})	6,8
Nitrogênio (g kg^{-1})	0,69
Matéria orgânica (g kg^{-1})	11,78
P assimilável (mg dm^{-3})	2,3
Relação C:N	10

Tabela 1 Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento.

por Correia *et al.*, 2006. O resíduo apresenta: 53,9% de CaO ; 0,78% de MgO ; 1,16% de SiO_2 ; 0,27% de Al_2O_3 ; 0,81% de Fe_2O_3 ; 0,027% de CuO ; 0,041% de K_2O ; 0,046% de SO_3 ; 0,069% de SrO ; 0,19% de MnO ; 0,045% de P_2O_5 , e 42,6% de perda por calcinação durante a análise. Os teores de metais pesados estão abaixo dos limites máximos permitidos (Brasil, 2006).

O Poder de Neutralização (PN) foi determinado segundo o procedimento oficial da legislação brasileira (Brasil, 1983) pelo procedimento denominado simplificado. Foi assumido reatividade (R) de 100%, pois o calcário foi moído e peneirado em peneira de 80 mesh, granulometria menor que a estabelecida por norma para a obtenção de 100% de reatividade.

O Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) foi determinado segundo Bellingieri *et al.* (1988), conforme a equação 1.

Equação 1 – Cálculo do Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT).

$$PRNT = \frac{(PN \times RE)}{100}$$

A partir do PN obtido de 99,37% e reatividade de 100%, o valor de PRNT calculado para o rejeito da Pedra Cariri foi de 99,37%.

A DR de calcário foi determinada de acordo com Sousa *et al.* (2007) pelo método da saturação por bases (V), conforme a equação 2.

Equação 2 – Determinação da Necessidade de Calagem (NC) através do método de saturação por bases.

$$NC \text{ (t/ha)} = T * \frac{(Ve - Va)}{100}$$

onde:

NC = necessidade de calcário, em t/ha (com PRNT 100%);

Va = saturação por bases desejada;

Ve = saturação por bases do solo, fornecida no laudo de análise.

T = CTC (capacidade de troca de cátions do solo) = $(H^+ + Al^{3+}) + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+$.

A saturação por bases desejada (Va) foi igual à 60%; a percentagem da saturação por bases do solo (Ve), obtida por análise química, foi de 50,4%; e a CTC do solo foi de 48 mmol_c dm⁻³. Assim, a NC de calagem foi de 0,732 mg ha⁻¹ para o pó do rejeito da Pedra Cariri.

A dose aplicada nos vasos foi determinada assumindo-se a incorporação do calcário na camada de 0-20 cm de profundidade do solo, totalizando 2.000.000 dm³ de solo por hectare. Portanto, a dose de calcário necessária para 5 dm³ de solo foi de 1/400.000 da NC, obtendo-se uma dose recomendada de 1,8g de calcário por vaso.

2.3 Incubação

O solo foi seco ao ar durante 3 dias, destorroado e homogeneizado. Em seguida, foram aplicados 5 dm³ de solo em cada vaso e, então, incorporadas e misturadas as respectivas doses de calcário nos vasos.

A umidade foi elevada para 70% da capacidade de retenção de água do solo; a manutenção da umidade foi realizada a partir da reposição da água perdida por evaporação; o volume de água repostado foi determinado a partir da avaliação da perda de massa, realizada com periodicidade de 2 dias. Os vasos foram acomodados em estufa de produção de hortaliças e mantidos nessas condições durante 3 meses.

Ao final do período de incubação, foi realizada a amostragem do solo de cada vaso para a realização de análise química.

2.4 Experimento com Plantas

Sementes de alface cultivar Lucy Brown, obtidas comercialmente, foram semeadas em bandejas de polietileno de 162 células, utilizando-se duas sementes por célula. O substrato utilizado constituiu-se de 1 volume de solo e 2 volumes de composto orgânico, sendo esse composto orgânico preparado no próprio local do experimento e constituído de resíduos de material vegetal da área. Após a semeadura, a bandeja foi colocada sob o telado 50% e recebendo água duas vezes ao dia.

Após o período de 3 meses de reação do calcário no solo, os vasos foram adubados com composto orgânico e foi realizado o transplante das mudas. O solo recebeu adubação na proporção de 2 volumes de solo para 1 volume de composto orgânico, sendo o composto orgânico o mesmo utilizado na produção das mudas. O transplante ocorreu 23 dias após a semeadura, quando as mudas tinham em média 7,6 cm,

e cada vaso recebeu duas mudas, sendo o desbaste realizado 5 dias após o transplante, mantendo apenas a planta mais vigorosa. Após o transplante, os vasos permaneceram sob telado com sombreamento de 50%.

A irrigação foi realizada duas vezes ao dia durante todo o período de desenvolvimento das plantas. A colheita foi realizada 39 dias após o transplante, procedendo-se um corte no colo da planta com o auxílio de uma tesoura.

2.5 Avaliações

2.5.1 Análise Química do Solo

As amostras foram submetidas a análises químicas de rotina para fins de levantamento descritas pela EMBRAPA (1997), para determinação de: pH em água; cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+}) em KCl 1 mol L^{-1} ; Na^+ e K^+ em HCl 0,05N; Al^{3+} em KCl N; H^+ + Al^{3+} em KCl N. A partir desses resultados obteve-se: soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), percentual de saturação por alumínio (m%), percentual de saturação por bases (V%) e percentual de sódio trocável (PST).

2.5.2 Número de Folhas Comerciais e Não Comerciais

As folhas foram separadas do caule e contadas, considerando-se todas, mesmo as menores encontradas no centro do caule, semelhante ao que fez Tanamati (2012). Em seguida foram descontadas as folhas menores que 3 cm (Bezerra Neto *et al.*, 2003) a fim de contabilizar somente as folhas comerciais.

2.5.3 Massa Fresca da Parte Aérea e da Raiz

Após a separação e contagem das folhas, as mesmas foram colocadas em sacos de papel devidamente identificados. Em seguida, procedeu-se a retirada do torrão de solo juntamente com a raiz para fora do vaso. Esse conteúdo foi colocado num recipiente com água e, aos poucos, separou-se as raízes do solo. Após a secagem natural, foram colocadas em sacos de papel identificados.

2.5.4 Massa Seca da Parte Aérea

A parte aérea e as raízes foram embaladas em sacos de papel e colocados em estufa com circulação

forçada de ar a 65°C por 72 horas até que atingissem peso constante. Após esse tempo, eles foram pesados em balança de precisão.

2.6 Análises Estatísticas

As variáveis relacionadas ao solo e ao desenvolvimento das alfaces foram submetidas à análise de variância. As variáveis do solo consideradas na análise foram: pH, condutividade elétrica (C.E), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^{2+}), potássio (K^+), acidez potencial (H + Al), acidez trocável (Al^{3+}), soma de bases (S), complexo de troca catiônica (T), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), percentagem de sódio trocável (PST). As variáveis relacionadas ao desenvolvimento da alface consideradas na análise foram: peso fresco da parte aérea (PFFA), peso seco da parte aérea (PSPA), diâmetro, altura, número de folhas total (NFT), número de folhas vivas (NFV) e peso fresco das raízes (PFR).

As variáveis que apresentaram efeito significativo dos tratamentos, com probabilidade maior que 95%, foram submetidas à análise de regressão e contraste. A análise de regressão polinomial foi realizada com propósito de verificar os efeitos quantitativos dos tratamentos de calcário (tratamentos T1 ao T4) e a análise de contraste para verificar diferenças entre o tratamento com calcário comercial e o rejeito da pedra Cariri (T3 vs T5). Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SAS® *University Edition*.

3 Resultados e Discussão

3.1 Efeito dos Tratamentos de Calagem no Solo

O rejeito da Pedra Cariri foi eficiente na correção da acidez do solo. A dose recomendada de calagem proporcionou elevação da saturação por bases do solo para 62,2%, valor superior aos 60% desejados no cálculo da recomendação de calagem, e o valor de pH foi elevado para 5,6 na DR. A calagem com o rejeito da Pedra Cariri ainda proporcionou alterações nos valores de Ca^{2+} , H + Al, Al^{3+} , SB V% e m% (tabela 2).

Tanto os valores de pH quanto as concentrações de Ca^{2+} apresentaram resposta quadrática às

doses do rejeito da Pedra Cariri, no entanto, o ponto de inflexão da curva não foi atingido mesmo com o dobro da dose recomendada e o valor do coeficiente de x^2 foi de 0,0001 e 4×10^{-6} , para o pH e Ca^{2+} , respectivamente, dessa forma, aproximando-se da resposta linear. Na DR de calcário foram aplicados 6,9 mmolc de Ca por dm^{-3} de solo, sendo que 5,4 mmolc de Ca foram recuperados na forma trocável pela extração com KCl 1mol L^{-1} . Portanto, a reação do pó do rejeito da Pedra Cariri no solo disponibilizou 78% do conteúdo de Ca na forma trocável para o solo.

Os teores trocáveis de Mg não foram alterados pela aplicação do rejeito da Pedra Cariri. Essa resposta já era esperada, visto que o rejeito possui apenas 0,78% de MgO, o que equivale à 0,14 mmolc de Mg por kg de solo aplicados na dose recomendada, dose esta insuficiente para ser detectada devido à variabilidade entre as repetições.

Houve diminuição dos teores de H + Al no solo pela reação do calcário. A diminuição foi de 4 mmolc de $H^+ + Al^{3+}$ na dose recomendada, sendo os sítios do complexo sortivo do solo substituídos por Ca^{2+} .

As alterações nos teores de Ca^{2+} e H + Al do solo foram refletidas na soma de bases e consequentemente na saturação por bases e saturação por alumínio no solo, havendo elevação da soma de bases do solo em 8,4 mmolc dm^{-3} . Acumulando o efeito da adição de Ca e de outras bases, como K e Mg, embora essas últimas não tenham sido alteradas individualmente.

A análise de contraste realizada entre os tratamentos T3 e T5 não revelou diferenças significativas entre a calagem utilizando o rejeito da Pedra Cariri e o calcário calcítico de origem comercial para a maioria das variáveis. A única variável em que houve diferença significativa entre o T3 e T5, a uma probabilidade de até 5%, foi o percentual de sódio trocável (PST).

Não houve variação significativa na análise de variância em nenhuma das variáveis analisadas em relação ao desenvolvimento das plantas de alface, numa probabilidade de 5%, em relação à dose de calcário aplicada (Tabela 3).

	pH (água)	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	(H+ Al)	Al ³⁺	SB	V	m	PST
Tratamentos (T)	-	dS/m	mmol/dm ³						%		
1	5,04	0,662	13,8	6,8	1,58	23,8	1,6	24,4	50,4	6,6	4,4
2	5,4	0,686	15,4	8,0	1,72	21,4	1,5	27,4	56,4	5,2	4,8
3	5,62	0,706	19,2	9,6	1,72	19,8	1,0	32,8	62,2	3,0	4,4
4	6,18	0,686	23,8	9,4	1,92	13,9	0,9	37,2	72,8	2,2	4,0
5	5,64	0,634	16,0	10,8	1,66	21,1	0,7	30,6	59,0	2,6	3,6
Regressão	Q**	-	Q**			Q**	Q*	Q*	Q**	Q**	-
a - T3 vs T5	-	-	-			-	-	-	-	-	*

* - significativo P<0,05
** - significativo P<0,01
a - Contraste entre os tratamentos 3 e 5
Q - regressão quadrática

Tabela 2 Análise química do solo após 3 meses de incubação sem calcário (T1), 50% (T2), 100% (T3) e 200% (T4) da dose recomendada do rejeito da Pedra Cariri e dose equivalente à 100% da dose recomendada, porém utilizando calcário calcítico comercial (T5). Análise de variância, com variação significativa de até 5% de probabilidade (*) e até 1% de probabilidade (**), para todas as variáveis do solo. Análise de contraste (a), a um nível de significância de até 5% de probabilidade, entre a dose recomendada do rejeito de Pedra Cariri e calcário calcítico comercial. Análise de regressão quadrática (Q) para as variáveis com variação significativa.

Tratamentos (T)	PFPA (g)	PSPA (g)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	NFT	NFV	PFR (g)
1	139,5	9,5	32,48	19,9	27,6	24,8	10,4
2	134,8	8,1	34,6	20,68	28,2	26	8,6
3	167,4	11,9	36,18	22,6	32,8	30,8	11,2
4	135,9	7,8	37,0	21,3	28,6	26,6	7,1
5	151,3	9,5	37,28	21,74	30,0	27,6	9,5
Análise de Variância	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T3 vs T5	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	23,88	41,17	11,34	11,43	14,7	14,08	52,59

ns - não significativo.
CV(%) - Coeficiente de Variação.

Tabela 3 Médias para os parâmetros Peso Fresco da Parte Aérea (PFPA), Peso Seco da Parte Aérea (PSPA), Diâmetro, Altura, Número de Folhas Total (NFT), Número de Folhas Vivas (NFV) e Peso Fresco das Raízes (PFR) das plantas de alface para cada uma das doses de calcário (tratamentos) aplicadas no cultivo. Análise de variância entre todos os tratamentos (T1 a T5) e análise de contraste entre a dose recomendada do rejeito de pedra Cariri e calcário calcítico comercial (T3 vs T5), analisando a variação entre todos os parâmetros a um nível de significância de até 5% de probabilidade e, assim, indicando as variáveis com variação não significativa (ns). Coeficiente de variação (CV) de cada parâmetro analisado nas plantas.

De acordo com as recomendações para o cultivo de alface, o pH do solo deve estar entre 6 e 6,8 (Maynard & Hochmuth, 2007) e a saturação por bases em torno de 80% (Trani *et al.*, 2014). Portanto era de se esperar respostas positivas no desenvolvimento da cultura, visto que tanto o pH do solo quanto o V% foram corrigidos para valores próximos à faixa recomendada nos tratamentos com as maiores dosagens de calcário. No entanto, não foram verificados efeitos da calagem no desenvolvimento da planta. Resultado semelhante encontrou Feltrim *et al.* (2009), quando comparou a produção de alface em dois períodos do ano e, conseqüentemente, duas faixas de temperaturas distintas; mesmo realizando a calagem, observou-se uma redução de 29% na massa fresca da parte aérea da alface produzido no verão (temperatura média de 24,2°C) em comparação à alface produzida no inverno (temperatura média de 19,9°C). Assim, houve um efeito negativo da temperatura sobre o desenvolvimento da planta.

Um ponto importante que deve ser observado é que o potencial produtivo dessa cultivar não foi alcançado, onde a massa fresca média de plantas obtida foi de 146 g planta⁻¹, e Oliveira *et al.* (2004), ao produzir alface cv Lucy Brown em sistema hidropônico, onde pressupõe-se condições ideais de desenvolvimento, encontrou peso fresco médio de plantas de 316,6 g planta⁻¹. Santi *et al.* (2010) também obteve uma média maior, 315,27 g planta⁻¹, ao também utilizar a cultivar Lucy Brown. A mesma tendência foi observada quanto à massa seca, onde no presente trabalho observou-se uma média de 9,4 g planta⁻¹, enquanto Feltrim *et al.* (2005) obteve média de 19,72 g planta⁻¹, também com a cultivar Lucy Brown em pH do solo igual a 6,2. Isso revela que outros fatores além da condição de acidez do solo limitaram o crescimento das plantas de alface.

O teor de potássio e magnésio para o tratamento onde foi aplicada a maior dose do pó do rejeito foi de 1,92 e 9,4 mmol_c dm⁻³, respectivamente, valores considerados médios, segundo Raji *et al.* (1997). Enquanto que os teores de cálcio passaram de níveis médios no tratamento controle (13,8 mmol_c dm⁻³) para teores altos no tratamento com maior dosagem (23,8 mmol_c dm⁻³) (Raji *et al.*, 1997). Já a salinidade apresentou-se em nível favorável ao de-

envolvimento da alface, mantendo uma média de 0,68 dS/m, valor dentro do limite determinado por Ayers & Westcot (1985) que é de 1,3 dS/m, quando valores além deste levam a uma redução do rendimento produtivo.

Desse modo, os fatores relacionados à fertilidade e acidez do solo não parecem ser responsáveis pela menor produtividade da alface em comparação com dados obtidos na literatura para essa mesma cultivar (Oliveira *et al.*, 2004; Feltrim *et al.*, 2005; Santi *et al.*, 2010). É provável que outros fatores, como as condições ambientais, sejam responsáveis pela limitação do potencial produtivo, como, por exemplo, as altas temperaturas observadas no período, em média 28°C (INMET, 2016). Segundo Jackson *et al.* (1996), a temperatura ideal para o desenvolvimento da alface americana é de 23°C durante o dia e 7°C à noite. Ainda, a ausência de resposta da cultura para a correção da acidez pode ser devido às altas dosagens de fertilizante orgânico, que amenizam os efeitos da acidez do solo no desenvolvimento das plantas.

Não foram observadas diferenças no desenvolvimento das plantas entre os contrastes dos tratamentos padrão do rejeito da Pedra Cariri e do calcário comercial. Essa resposta já era esperada, visto que não houve diferenças entre esses tratamentos nas variáveis analisadas do solo. Com exceção do PST, onde ocorreu uma elevação de cerca de um ponto percentual no tratamento de rejeito da Pedra Cariri, portanto, sem significância prática. Esses resultados comprovam que o pó do rejeito da Pedra Cariri não possui resíduos de contaminantes que poderiam causar problemas para o desenvolvimento das plantas, como por exemplo observado por Prado *et al.* (2002), que avaliou a ação de escória de siderurgia como corretivo do solo, encontrando altos teores de Mn que limitaram o desenvolvimento da planta e teores de Zn acima do permitido pela legislação de alimentos (Associação Brasileira da Indústria de Alimentos, 1985).

3 Conclusões

O rejeito da Pedra Cariri se mostrou um bom agente neutralizador de acidez do solo, pois além de elevar o pH num período de 3 meses de incuba-

ção em estufa, reduziu os teores de acidez trocável (Al^{3+}), acidez potencial ($H + Al$) e saturação por alumínio (m) no solo experimentado;

Como insumo agrícola, o rejeito da Pedra Cariri mostrou uma boa eficácia, pois elevou os teores de cálcio (Ca^{2+}), de soma bases trocáveis (SB) e saturação por bases (V) do solo experimentado;

Não houve resposta no desenvolvimento da alface em relação à correção da acidez do solo em nenhuma das doses aplicadas, mesmo sob condições adequadas de pH, V%, teores de nutrientes e salinidade;

Os efeitos proporcionados pelo pó do rejeito da Pedra Cariri foram semelhantes aos do calcário comercial;

O pó do rejeito da Pedra Cariri tem potencial para ser comercializado como insumo agrícola e, assim, proporciona-se uma nova utilidade para esse material, a fim de diminuir o volume das pilhas de rejeitos e, conseqüentemente, os impactos ambientais causados pelas mesmas.

5 Referências

- Assine, M.L. 1992. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 22: 289 - 300.
- Associação Brasileira da Indústria de Alimentos, ABIA. 1985. *Compendio da legislação de alimentos: consolidação das normas e padrões de alimentos*. São Paulo, 1985. Não paginado.
- Ayers, R.S. & Westcot, D.W. 1985. *Irrigation and Drainage Paper: Water Quality for Agriculture*. Roma/It, Food and agriculture organization of the United Nations (FAO). 107 p.
- Balbinot Jr, A.A.; Tôres, A.N.L.; Fonseca, J.A. & Teixeira, J.R. 2006. Crescimento e teores de nutrientes em tecido de alface pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel num solo ácido. *Revista de Ciências Agro-veterinárias*, 5(1): 9 - 15.
- Bellingieri, P.A.; Alcarde, J.C. & Souza, E.C.A. 1988. Avaliação da qualidade de calcários agrícolas através do PRNT. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, 45: 579 - 588.
- Bezerra N.F.; Andrade, F.V.; Negreiros, M.Z. & Santos Jr, J.J. 2003. Desempenho agroecômico do consórcio cenoura x alface lisa em dois sistemas de cultivo em faixa. *Horticultura Brasileira*, 21: 635-641.
- Brasil. 1983. *Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais*. Brasília, Ministério da Agricultura: Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. 104p.
- Brasil. 2006. Instrução Normativa n.27, de 05 de junho de 2006. Aprova os limites máximos de agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas admitidos nos fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes destinados à agricultura. Diário Oficial da União, Brasília, n. 110, p. 15.
- Castro, N.F.; Campos, A.R. & Vidal, F.W.H. 2007. Melhoras técnicas na lavra e na proteção do patrimônio e meio ambiente do Arranjo Produtivo Local de Calcários do Cariri - CE. In: Jornada do Programa de Capacitação Institucional, 1, Rio de Janeiro, 2007. *Resumos expandidos*, Rio de Janeiro, CETEM, p. 21-25.
- Correia, J.C.G.; Vidal, F.W.H. & Ribeiro, R.C.C. 2006. Caracterização tecnológica dos calcários do Cariri do Ceará. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5, Recife, 2006. *Resumos expandidos*, Recife, p. 65-73.
- Donagema, G.K.; Campos, D.V.B.; Calderano, S.B.; Teixeira, W.G. & Viana, J.H.M. (Orgs.). 2011. *Manual de métodos de análise do solo*, 2.ed. rev. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 230 p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro, EMBRAPA. 212 p.
- Feltrim, A.L.; Filho, A.B.C.; Rezende, B.L.A. & Branco, R.B.F. 2009. Produção de alface-crespa em solo e em hidroponia, no inverno e verão, em Jaboticabal, SP. *Científica*, 37: 9-15.
- Feltrim, A.L.; Filho, A.B.C.; Branco, R.B.; Barbosa, J.C. & Salatiel, L.T. 2005. Produção de alface americana em solo e em hidroponia, no inverno e verão, em Jaboticabal, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(4): 505-509.
- Ferreira, R.P.; Moreira, A. & Rassini, J.B. 2006. *Toxidez de alumínio em culturas anuais*. São Carlos, EMBRAPA. 35 p.
- Gee, G.W. & Or, D. 2002. Particle-size analysis. In: DANE, J.H AND TOPP, C.G. (eds.). *Methods of soil analysis*. Soil Science Society of America, p. 255-293.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Acesso em 07 de Dez. 2016.
- Jackson, L.; Mayberry, K.; Laemmle, F.; Koike, S.; Schluback, K. & Chaney, W. 1996. Iceberg lettuce production in California. *Agriculture and Natural*, 2: 4 - 11.
- Kaminski, J.; Volkweiss, S.J. & Becker, F. 1989. Corretivos da acidez do solo. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 2, Santa Maria, 1989. Santa Maria, p. 210 - 218.
- Maynard, D.N. & Hochmuth, G.J. 2007. Knott's handbook for vegetable growers. *John Wiley & Sons*. 5: 68 - 93
- Oliveira, A.C.B.; Sediya, M.A.N.; Pedrosa, M.W.; Garcia, N.C.P. & Garcia, S.L.R. 2004. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. *Acta Scientiarum Agronomy*, 26(2): 211 - 217.
- Prado, R.D.M.; Coutinho, E.L.M.; Roque, C.G. & Villar, M.L.P. 2002. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 37(4): 539 - 546.
- Raij, B.V.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. & Furlani, A.M.C.

1997. *Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas, Instituto Agronômico & Fundação IAC. 285 p.
- Santi, A.; Carvalho, M.A.; Campos, O.R.; Silva, A.F.; Almeida, J.L. & Monteiro, S. 2010. Ação de material orgânico sobre a produção e características comerciais de cultivares de alface. *Horticultura Brasileira*, 28(1): 87 – 90.
- SAS® University Edition - Statistical Analyses System - SAS/ University Edition, © 25 SAS Institute Inc.
- Sousa, D.M.G.; Miranda, L.N. & Oliveira, S.A. 2007. Acidez do solo e sua correlação. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; DE BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & LIMA, J.C. (eds.). *Fertilidade do Solo*. Editora Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 205-275.
- Tanamati, F.Y. 2012. *Fontes e Doses de Corretivos de Acidez do Solo na Nutrição e Produção de Alface*. Programa de Pós-graduação em Agronomia: Horticultura, Universidade Estadual Paulista, Dissertação de Mestrado, 73p.
- Trani, P.E.; Purquerio, L.F.V.; Figueiredo, G.J.B.; Tivelli, S.W. & Blat, S.F. 2014. Calagem e adubação da alface, almeirão, agrião d'água, chicória, coentro, espinafre e rúcula. *O Agrônomo*, 66: 32 - 45.
- Viana, M.S.S. & Neumann, V.H.L. 1999. O Membro Crato da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE – Riquíssimo registro de fauna e flora do Cretáceo. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M. & BERBERT-BORN, M. (eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), p. 113-120.
- Vidal, F.L.H. 2010. *Oportunidades e desafios para o fortalecimento do APL calcário Cariri-CE*. Curso de Especialização para Formação de Agentes Gestores de Arranjos Produtivos Locais (APL's), Universidade de Fortaleza, Monografia, 85p.
- Vidal, F.W.H. & Padilha, M.W.M. 2003. A indústria extrativa da pedra cariri no estado do Ceará. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4, Fortaleza, 2003. *Resumos Expandidos*, Fortaleza, p.199-210.
- Vidal, F.W.H.; Padilha, M.W.M. & Oliveira, R.R. 2006. Aspectos geológicos da Bacia do Araripe e do aproveitamento dos rejeitos da Pedra Cariri – Ceará. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5, Recife, 2006. *Resumos expandidos*, Recife, p.31-36.
- Yeomans, J.C. & Bremner, J.M. 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analyses*, 19: 1467-1476.