

Aplicação de resíduo do processamento industrial de alga marinha ao solo

SOIL APPLICATION OF SEA WEED INDUSTRIAL WASTE PROCESSING

Marcelo De Mario
Serafim Daniel Ballesterio
Departamento de Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté

RESUMO

O processamento da alga *Kappaphycus alvarezii* para produção de carragenana gera um resíduo líquido que, por possuir alta concentração de potássio e menor de sódio e fósforo, poderá ser utilizado como fonte de nutrientes para as plantas. Com o objetivo de avaliar o uso agrícola desse resíduo na capacidade de agregação e na variação de alguns atributos químicos de um solo do tipo Cambissolo, foi instalado um experimento, em viveiro, na Unidade de Pesquisa do IAC em Ubatuba-SP tendo como indicador as plantas medicinais *Mentha crisper* e *Cibopogon winterianus*. Foram utilizadas diferentes diluições do resíduo de acordo com os seguintes tratamentos e com quatro repetições: T1 (0,00 mg de Na e K/300 ml de água); T2 (7.200 mg de K e 13,62 mg de Na/300 ml de água); T3 (1.800 mg de K e 3,40 mg de Na/300 ml de água); T4 (450 mg de K e 0,851 mg de Na/300 ml de água); T5 (112,32 mg de K e 0,210 mg de Na/300 ml de água); T6 (28,08 mg de K e 0,053 mg de Na/300 ml de água). A avaliação da influência na capacidade de agregação do solo foi feita através da análise das porcentagens de argila dispersa em água (argila natural ou livre) e das porcentagens de argila dispersa com NaOH 1N (argila floculada), determinando-se a variação do grau de agregação do solo. O estudo da variação dos atributos químicos do solo foi feito com a determinação do pH, condutividade elétrica, teores de cálcio, potássio, magnésio, sódio, hidrogênio + alumínio, capacidade de troca catiônica, porcentagem de saturação de bases e os índices para avaliar a ocorrência de salinização: PST, RAS e CE. A análise estatística dos dados foi feita com a aplicação da análise de variância e teste Tukey de comparação de médias, em níveis de 5% e 1% de probabilidade, utilizando-se do programa SANEST. Através dessas análises observou-se que as concentrações acima de 450 mg de K e 0,851 mg de Na /300 ml de água, correspondente à diluição de 62,5 ml do resíduo/l de água/l de solo elevaram a quantidade de argila natural a níveis que

provocaram danos na capacidade de agregação do solo. O comportamento da condutividade elétrica, do pH, da PST e da RAS demonstrou que diluições acima de 250 ml de resíduo/l de água/l de solo, com concentrações acima de 1.800 mg de K e 3,40 mg de Na/300 ml de água podem provocar a salinização do solo. Portanto, para a utilização desse resíduo, como fonte de potássio para as plantas, devem ser feitas diluições para que a concentração desse nutriente fique abaixo desse valor.

PALAVRAS-CHAVE

Resíduo industrial. Uso agrícola. Concentração de sódio. Salinização do solo.

INTRODUÇÃO

Na faixa litorânea brasileira é muito comum a prática da marinicultura com o cultivo de mexilhões, ostras, engorda de peixes e outras atividades. Entre elas, está sendo introduzido o cultivo de algas de diversas espécies e variedades para diferentes fins, como a *Kappaphycus alvarezii*, introduzida no Brasil pelo Instituto de Biociências da USP e cultivada com o objetivo de se extrair a carragenana, uma goma com médio a alto teor de geléia, responsável pela conservação e agregação de diversos alimentos enlatados e embutidos, além de ser utilizada no setor de medicamentos em cápsulas de pílulas, cremes e cosméticos em geral.

O processo de industrialização dessa alga, para extração da geléia, é feito com ataque alcalino, utilizando-se de hidróxido de potássio a 6%. O resíduo gerado no processo de extração é rico em potássio e, em menor quantidade sódio e fósforo, originários do meio ambiente marinho, onde é cultivada, e da matéria orgânica das células mortas da alga. Um dos destinos desse material pode ser o uso agrícola, que, no entanto, deve ser criteriosamente pesquisado devido ao efeito desses íons no equilíbrio iônico dos solos e na produção vegetal.

A produção nacional de carragenana é de cerca

de 1.360 t/ano, sendo o nordeste responsável por 400 t/ano, Rio de Janeiro, 360 t/ano e o estado de São Paulo, 600 t/ano, consumindo um total de 362.667 t/ano de alga fresca ou 45.333 t/ano de alga seca e gerando uma quantidade de 45.333 m³/ano de resíduo. Um local onde, em geral, está sendo lançado esse resíduo é o oceano, tendo em vista que as indústrias que processam essa alga estão localizadas em regiões litorâneas, causando a eutrofização do ambiente marinho.

Quando se considera o uso do solo como depurador de resíduos, pode-se ter como objetivo unicamente a degradação biológica do conteúdo orgânico, ou também, pode-se visar o uso do resíduo como fonte de matéria orgânica para o solo e nutrientes para as culturas, porém, em qualquer dos casos citados, a composição do resíduo é de importância fundamental, uma vez que a presença de íons não adequados ao meio ambiente pode causar danos, em certos casos irreversíveis, ao solo onde o resíduo foi ou será descartado.

Tendo em vista o impacto ambiental que o descarte do resíduo resultante do processamento industrial da alga *Kappaphycus alvarezii* promove, propõe-se, por meio desta pesquisa, verificar a possibilidade de seu uso agrícola como fertilizante, para que se possa dar uma destinação ambientalmente correta, reutilizando-o como uma forma alternativa de adubo e favorecendo, dessa forma, aos agricultores que utilizam fertirrigação em suas produções, notadamente para os sistemas de cultivo protegido.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de resíduo com altas concentrações de sódio e potássio no cultivo das plantas medicinais: hortelã e citronela, bem como, nos atributos físicos e químicos de um solo do tipo Cambissolo, existente na região litorânea de Ubatuba-SP. Em função dos problemas que o excesso de sódio e, em menor grau, o potássio, podem provocar nos solos, o estudo realizado procurou determinar, por meio de diluições, a concentração desses cátions no resíduo que não causasse dano ao solo e às plantas, quando aplicado ao solo.

REVISÃO DE LITERATURA

A carragenana é uma goma ou geléia, com amido, que é parte da estrutura da parede celular dos carragenófitos de alguns gêneros de algas marinhas. É utilizada principalmente, como um ingrediente alimentar, fazendo parte também da produção de medicamentos, cosméticos, etc. Existem basicamente três tipos de geléia comercial derivada de alga marinha: carragenana, agar e alginato (RAGAN; BIRD, 1987).

O processo de industrialização da alga *Kappaphycus alvarezii* para extração da geléia pode ser feito com ataque alcalino, utilizando-se de hidróxido de potássio a 6%, gerando um resíduo que possui altos teores de potássio e em menores quantidades sódio e fósforo. Um dos destinos de utilização desse material pode ser o uso como fonte de potássio para as plantas.

O potássio é um macronutriente muito exigido pelas culturas e, em geral, os solos de clima tropical e subtropical apresentam baixos teores desse elemento, sendo necessária complementação com a adubação mineral (BRAGA, 1972; GAMA, 1967; SUTTON; SEAY, 1958).

Quimicamente, a adição de sódio e potássio no solo eleva o pH, aumentando também a densidade de carga superficial e favorecendo a adsorção de cátions bivalentes em relação aos monovalentes, aumentando a concentração desses cátions na solução do solo, que também ocasionam diminuição das forças de floculação contribuindo também no aumento da dispersão das partículas minerais (BOLT, 1955; MORAIS PAGE; LUND, 1976).

Nesse sentido, Braga (1972) e Defelipo (1974) verificaram a existência de correlação positiva entre o potássio trocável disponível às plantas e o pH dos solos, sendo essa influência explicada pela ação indireta deste, uma vez que o pH reflete a saturação das bases trocáveis, principalmente cálcio e magnésio como íons complementares do potássio.

A aplicação de sódio em excesso ao solo pode causar desequilíbrio iônico e foi um problema inicialmente associado à utilização de águas de irrigação contendo teores elevados desse elemento e/ou associado à baixa precipitação, porém, atualmente, devido ao aumento no descarte de resíduos industriais, utilizando o solo como depósito final, esses problemas estão relacionados com a aplicação ao solo de substâncias ou compostos derivados de atividades industriais em que é usado o sódio no processo industrial ou na lavagem de equipamentos gerando um

resíduo prejudicial ao meio ambiente (HERRERA, 1991).

Os sistemas de irrigação atuam no processo de lixiviação no solo e contribuem no transporte vertical de íons, elevando os teores de sódio e potássio nas camadas de sub-superfície, conforme demonstrado por Andrade et al. (2002) ao observar a ocorrência de maiores teores de sódio e potássio nas camadas de solo a 0,5 m de profundidade nas culturas conduzidas com irrigação na região da Chapada do Apodí-CE. Os mesmos autores observaram ser o sódio o elemento que mais influenciou no aumento da condutividade elétrica desses solos.

Estudando os efeitos tóxicos da aplicação de diferentes concentrações de cloreto de sódio ao solo, Miranda et al. (2002) observaram que concentrações acima de 37,9 mol.m⁻³ inibiram a absorção de nitratos pelas plantas em função do efeito depressivo dos íons cloreto e sódio no equilíbrio iônico do solo. Concentrações acima de 85,7 mol.m⁻³ inibiram a absorção de fósforo.

O emprego de soluções concentradas com potássio e, principalmente, sódio no solo, produz reações que causam alterações físicas, tanto na estrutura quanto na quantidade e tamanho dos poros devido ao aumento da quantidade de argila dispersa que, transportada pela água, obstrui-os, uma vez que a espessura da dupla camada difusa dos colóides minerais é governada pelo tamanho do raio iônico e a valência do cátion adsorvido. Dessa forma, se o complexo de troca for saturado com sódio, que é monovalente, possui um pequeno raio iônico e elevada capacidade de hidratação, haverá dispersão dos colóides minerais e orgânicos, caso ocorra expansão exagerada das placas de argila (KIRKHAM; POWERS, 1972).

A aplicação de resíduos ao solo, na forma de descarte ou como fertilizante deve ser feito com critério, pois pode alterar seu equilíbrio iônico. Ao pesquisar a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto sem tratamento com cal, como adubo orgânico, Nascimento et al. (2004) observaram que houve diminuição dos valores de pH e aumento dos teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e sódio no solo, porém em concentrações compatíveis com o equilíbrio iônico.

Embora os teores de sódio nos resíduos de curtume sejam elevados, Ferrera et al. (2003) observaram que quando aplicados ao solo não elevaram substancialmente os níveis desse íon nas camadas superficiais, provavelmente em decorrência das perdas por

lixiviação nos períodos chuvosos.

Ao se estudar os níveis de potássio no solo, Scherer (1998) estabeleceu quatro classes de teores: muito baixa: < 38 mg.dm⁻³; baixa: entre 39 e 49 mg.dm⁻³; médio entre 50 e 63 mg.dm⁻³; alto > 63 mg.dm⁻³. O mesmo autor, analisando o efeito residual da dose de 320 kg/ha de K₂O em um solo do tipo Latossolo Húmico distrófico, observou que foi suficiente para manter a fertilidade em níveis satisfatórios durante seis anos e aumentar a produção de grãos por mais seis anos, evidenciando a baixa mobilidade do íon potássio no solo e o prolongado efeito residual da adubação potássica.

A aplicação de altas concentrações de potássio no solo pode inibir a disponibilidade de magnésio e deve ser aplicada em quantidades suficientes à necessidade das culturas. Estudos realizados por Borges (2004), com a cultura da banana, demonstraram que as altas concentrações de potássio podem produzir sintomas de deficiência de magnésio com o aparecimento do "azul da bananeira". O mesmo autor observou que o excesso de sais na água de irrigação nas regiões semi-áridas aumenta a concentração de sódio, reduzindo a absorção de potássio e, conseqüentemente, a produção de banana. Verificou que a relação potássio/sódio ótima no solo deve ser de 2,5 e o sódio não deve exceder a 8% do total de cátions trocáveis, sendo o ideal inferior a 4%. Solos com porcentagem de sódio superior a 12% são inadequados ao cultivo de banana.

Uma forma de se quantificar os danos provocados ao solo pela excessiva dispersão de colóides causada pelo excesso de sódio pode ser através da determinação do grau de floculação que é um indicativo da quantidade de argila livre (natural) existente em relação ao total de argila do solo. Ainda não foram estabelecidos valores limites para esse parâmetro físico, no entanto, Valle Júnior (1995), recomenda seu uso e definiu valores abaixo de 0,8% como prejudiciais à agregação dos solos.

O prejuízo que o excesso de sódio pode também provocar nos solos pode ser expresso pela porcentagem de sódio trocável (PST), que é quimicamente determinado e pode servir de parâmetro para avaliação dos teores permissíveis; valores de PST próximos a 12% geram prejuízos no crescimento e produção das plantas (McNEAL; COLEMAN, 1966). Quirk e Schofield (1955), desenvolveram o conceito de "limite crítico de concentração", que é o valor de PST que provoca uma queda de 10-15% na permeabilidade em

relação ao solo sem problemas de sódio. A permeabilidade do solo pode ser mantida desde que a concentração salina da solução percolante acarrete valores de PST abaixo desse nível crítico. Os dados observados por Lima (1990) apoiam o conceito do "limite crítico de concentração". Chirinos (1992) determinou o limite crítico de PST para LE como sendo menor que 5%; para Lve menor que 8% e para AQ menor que 6%.

Em estudos realizados por Silva (1983) com sorgo sacarino, foi observado que a dose de 4000 ppm de NaCl em solução nutritiva retardou o florescimento e causou queda de flores, além do secamento rápido das flores mais velhas e diminuição na produção de matéria seca. O mesmo autor observou que ao analisar o teor de nutrientes nas diferentes partes da planta, em função das concentrações de NaCl na solução nutritiva, somente o caldo teve uma variação significativa, sendo que os teores de N, Ca, Mg, S e Fe foram reduzidos em função da salinidade, enquanto os de K e Cu sofreram aumentos. O cloro e o sódio acumularam-se em maior quantidade nas folhas, sendo que o cloro mostrou-se o menos tóxico.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Ubatuba IAC - Ubatuba- SP. O solo utilizado no experimento foi do tipo cambissolo existente na área correspondente ao intervalo de cotas de 0 a 100 metros da formação cristalina da Serra

do Mar, classe textural Franco Argiloso Arenoso e com a caracterização física e química apresentadas nas tabelas 1 e 2.

A caracterização dos resíduos foi feita por meio de determinações das concentrações catiônicas, em especial do sódio, potássio, cálcio, magnésio e metais pesados nos laboratórios da SASA (Sistemas Ambientais Com. Ltda) e do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté com o apoio do Instituto de Pesca, regional de Santos (Tabela 3). Em função dos resultados obtidos e com base nos dados da literatura foram feitas diluições e determinadas as concentrações de cátions compatíveis com a produção vegetal e com a salinização do solo. (Tabela 4)

Com base nos resultados das concentrações de potássio e sódio do resíduo foi instalado um experimento para produção de mudas de plantas medicinais em condições de viveiro, que foram conduzidas em recipientes plásticos de volume 500 cm³ sobre uma chapa de ferro galvanizado com um sistema para coletar o material lixiviado. O substrato utilizado foi esterco bovino curtido e solo de capa de morro do local na proporção 2:1.

A pesquisa foi instalada em condições de viveiro, com as espécies *Cymbopogon winterianus* (capim citronela), *Mentha crisper* (hortelã comum). Essas espécies foram escolhidas porque, segundo a literatura apresentam variação na sensibilidade em relação às condições de salinidade. A instalação do experimento foi feita no período do verão e as mudas foram inicialmente produzidas pelo sistema de propagação tipo estaquia (hortelã) e por mudas (citronela).

Tabela 1 - Resultados da caracterização química do solo

g/dm ³		mg/dm ³				mmol/dm ³				
M.O.	PH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	SB	CTC
42	5,1	31	3,0	28	8	0,9	0	27	35,3	62,3
% ----- Valores numéricos -----										
V	K/CTC	Ca/CTC	Mg/CTC	Na/CTC	H/CTC	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	K/Na	
57	4,5	40,1	11,2	0,8	43,3	4	9	2	5,6	

C.E. = 0,4 mmhos/cm a temperatura de 25 °C e RAS = 0,016

Fonte: Fonte: Ballester et al.(2004) – Projeto Biota- FAPESP (SP)

Tabela 2 - Resultados da caracterização granulométrica do solo.

Granulometria (% TFSE)					
Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia total	Silte	Argila
10,41	16,36	25,63	52,40	6,46	41,14

Fonte: Fonte: Ballester et al. (2004) – Projeto Biota- FAPESP (SP)

Após enraizamento foram plantadas em recipientes de 500 cm³ preparados com o mesmo substrato utilizado na produção das mudas. Foram empregadas diluições do resíduo que foram adicionadas após transplante e pegamento das mudas nos saquinhos em uma única aplicação. As irrigações foram feitas com água, três vezes por semana. Cada tratamento foi conduzido com quatro repetições e cada repetição possuía cinco plantas de cada espécie. Foi realizado em um sistema de rampa onde o material lixiviado foi coletado e descartado.

Com base na literatura, segundo Silva (1983), foram estabelecidos os tratamentos:

- T₁ – Solo sem resíduo – Testemunha 1
- T₂ – Solo com resíduo sem diluição (300 ml) – Testemunha 2
- T₃ – Solo com diluição de 75 ml do resíduo/ 300 ml de água destilada e deionizada
- T₄ – Solo com diluição de 18.75 ml do resíduo/ 300 ml de água destilada e deionizada
- T₅ – Solo com diluição de 4.68 ml do resíduo/ 300 ml de água destilada e deionizada
- T₆ – Solo com diluição de 1.17 ml do resíduo/ 300 ml de água destilada e deionizada

Tabela 3 - Concentração de cátions e ânions do resíduo

Parâmetro	Concentração	Unidade	Método
Alumínio (Al ⁺⁺⁺)	5,70	mg/L	ICP-OES
Cálcio (Ca ⁺⁺)	< 0,05	mg/L	ICP-OES
Chumbo (Pb ⁺⁺)	0,12	mg/L	Fotometria/HACH
Ferro (Fe ⁺⁺)	2,17	mg/L	ICP-OES
Fósforo (PO ₄) ⁻⁻⁻	13,00	mg/L	ICP-OES
Magnésio (Mg ⁺⁺)	0,15	mg/L	ISE/ORION
pH	13,1	-	Potenciometria
Potássio (K ⁺)	24.000	mg/L	ABA/OES
Sódio (Na ⁺)	45,4	mg/L	ICP/OES
C.E.	80,0	mmhos/cm	Condutivímetro

Fonte: De Mario et al. (2001)

Tabela 4 - Concentração de sódio/300 ml de água destilada e deionizada e os teores de sódio utilizado nos tratamentos.

Tratamento	Sódio (mg/300 ml de H ₂ O)	Potássio (mg/300 ml de H ₂ O)
T1	0,0	0,0
T2	13,62	7.200
T3	3,40	1.800
T4	0,851	450
T5	0,210	112,3
T6	0,053	28,1

Fonte: De Mario et al. (2001)

Os parâmetros biométricos das culturas monitorados semanalmente, no período de 30/05 a 11/07, foram a altura das plantas, números de plantas e, para a cultura de citronela, também o perímetro do perfilho. Após um período de desenvolvimento de 63 dias, as plantas foram colhidas e foram determinados os dados da altura das plantas, comprimento do sistema radicular, peso fresco e seco da parte aérea e sistema radicular.

Após colheita, os solos dos saquinhos foram secos ao ar e foram feitas análises padrão de fertilidade incluindo a concentração de sódio e condutividade elétrica segundo metodologia recomendada por EMBRAPA

(1997) e Van Raij (1996).

Foram também realizadas análises granulométricas, determinando-se as frações areia total, silte total, argila total e argila dispersa em água, foi determinado o grau de floculação (EMBRAPA, 1997).

O experimento foi conduzido num delineamento inteiramente casualizado. A análise estatística dos dados coletados foi feita com a aplicação dos testes de análise de variância e Tukey de comparação de médias em níveis de 1% e 5% de probabilidade, utilizando-se do programa SANEST.

Com os dados dos teores de sódio e condutividade

elétrica, segundo Vieira (1983), foram determinados os índices de salinidade: Porcentagem de Sódio Total (PST), Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e Pressão Osmótica (PO).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação dos parâmetros biométricos referentes ao desenvolvimento vegetativo da cultura de hortelã no período de cultivo considerado está demonstrada

nas tabelas 5, 6 e 7 abaixo e demonstrou um comportamento uniforme entre os tratamentos, não apresentando maior ou menor influência da aplicação do resíduo com exceção do tratamento em que se utilizou a quantidade de 300 ml do resíduo em 500 cm³ de substrato. Nesse tratamento os parâmetros biométricos apresentaram os menores valores evidenciando menor desenvolvimento vegetativo.

Tabela 5 - Variação da altura de plantas da cultura de hortelã com a aplicação do teste Tukey de comparação de médias a 1% de probabilidade

Tratamentos	0 dia	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	35 dias	42 dias	49 dias	56 dias	63 dias
T1	13,8A	15,5A	16,1A	17,4 A	18,2A	18,9A	20,13A	21,2A	22,5A	23,9A
T2	11,4A	12,9A	12,3AB	12,1AB	12,6AB	12,6AB	14,13A	16,0A	20,4AB	24,4A
T3	12,4A	15,6A	18,2A	18,3A	19,3A	19,3A	21,93A	23,2A	25,8A	29,4A
T4	14,3A	18,1A	18,5A	18,3A	19,8A	19,8A	22,43A	26,1A	26,4A	29,6A
T5	13,5A	16,8A	18,9A	19,5A	21,3A	21,3A	23,60A	24,3A	26,4A	27,2A
T6	18,0A	18,7A	19,0A	19,3A	19,8A	20,7A	21,60A	23,8A	29,3A	30,9A

Tabela 6 -Variação do diâmetro de copa da cultura de hortelã com a aplicação do teste Tukey de comparação de médias a 1% de probabilidade.

Tratamentos	0 dia	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	35 dias	42 dias	49 dias	56 dias	63 dias
T1	12,7A	16,0A	14,5A	15,1A	16,8A	16,8A	18,4A	20,6A	21,5A	24,6A
T2	7,3AB	9,6AB	10,2AB	11,4AB	11,5B	11,5B	13,6AB	14,2B	16,9B	18,4B
T3	13,5A	14,9A	15,4A	15,5A	16,9A	16,9A	17,8A	18,5A	20,8A	21,6A
T4	14,2A	14,8A	14,7A	17,1A	17,5A	17,5A	19,3A	18,8A	20,7A	25,5A
T5	11,9A	13,6A	15,2A	17,7A	21,6A	21,6A	21,7A	25,2A	28,1A	27,9A
T6	13,7A	15,3A	16,1A	17,7A	18,4A	18,3A	19,9A	21,4A	23,6A	28,0A

Tabela 7 -Variação do número de hastes da cultura de hortelã com a aplicação do teste Tukey de comparação de médias a 1% de probabilidade.

Tratamentos	0 dia	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	35 dias	42 dias	49 dias	56 dias	63 dias
T1	3,5A	3,6A	3,6A	3,6A	3,6A	3,7A	3,7A	3,8A	3,8A	4,1A
T2	3,2A	3,3A	2,3B	2,5B	2,9A	2,9A	3,0AB	3,0B	3,3AB	3,4B
T3	3,5A	3,4A	3,7A	3,3A	3,4A	3,4A	3,5A	3,9A	4,2A	4,6A
T4	3,6A	3,6A	3,6A	3,7A	3,7A	3,7A	3,8A	3,9A	4,3A	4,5A
T5	3,6A	3,6A	2,7A	3,7A	3,7A	3,8A	3,9A	3,9A	4,4A	4,6A
T6	3,3A	3,3A	3,6A	3,7A	3,9A	3,9A	4,1A	4,2A	4,5A	4,7A

Tabela 8 - Variação do número de hastes na cultura de citronela com a aplicação do teste Tukey de comparação de médias a 1% de probabilidade.

Tratamentos	0 dia	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	35 dias	42 dias	49 dias	56 dias	63 dias
T1	2,1A	2,1A	2,2A	2,2A	2,2A	2,2A	2,0A	2,2A	2,4A	2,2A
T2	1,5A	1,2A	1,3A	1,4A	1,4AB	1,4AB	1,7B	1,6B	1,8B	1,8B
T3	1,9A	1,9A	1,7A	1,8A	1,8A	1,7A	1,8AB	1,8B	1,9B	1,9B
T4	2,1A	2,5A	2,7A	1,9A	1,9A	2,1A	2,0A	2,3A	2,5A	2,3A
T5	2,1A	2,3A	2,3A	2,1A	2,1A	2,1A	2,2A	2,2A	2,2A	2,4A
T6	1,9A	2,0A	2,0A	2,0A	2,3A	2,3A	2,8A	2,9A	3,2A	3,4A

No caso da cultura da citronela, para os parâmetros relacionados ao desenvolvimento vegetativo (tabelas 8, 9, 10 e 11), houve maior variação em relação à cultura de hortelã.

Os tratamentos em que foram utilizadas maiores doses do resíduo apresentaram em geral menores valores demonstrando maior efeito das altas doses do resíduo para essa cultura.

Tabela 9 - Variação do diâmetro do colo (cm) da cultura da citronela com a aplicação do teste Tukey de comparação de médias a 1% de probabilidade.

Tratamentos	0 dia	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	35 dias	42 dias	49 dias	56 dias	63 dias
T1	2,1A	1,6A	1,7A	1,9A	1,9A	2,0A	1,9A	1,9A	2,1A	1,9A
T2	1,4A	1,2A	1,2A	1,1A	1,1A	1,1A	1,1A	1,1A	1,2A	1,4A
T3	1,7A	1,3A	1,3A	1,3A	1,3A	1,3A	1,5A	1,7A	1,7A	2,0A
T4	3,3A	2,2A	2,0A	2,3A	2,4A	2,3A	2,5A	2,3A	2,4A	2,4A
T5	2,6A	1,6A	1,7A	1,9A	2,0A	2,0A	2,1A	2,2A	2,2A	2,5A
T6	3,0A	1,8A	1,8A	1,8A	2,0A	1,9A	1,9A	2,3A	2,5A	2,6A

Tabela 10 - Variação da altura das plantas (cm) da cultura da citronela com a aplicação do teste Tukey de comparação de médias a 1% de probabilidade.

Tratamentos	0 dia	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	35 dias	42 dias	49 dias	56 dias	63 dias
T1	28,3A	37,7A	46,3A	53,6A	60,4A	61,1A	63,0A	64,7A	65,1A	66,9A
T2	16,7B	23,4B	26,6C	37,3B	37,3C	37,3C	48,0C	55,0AB	55,9AB	59,9A
T3	24,3A	36,2A	47,7A	50,8A	51,2A	52,8A	53,0AB	53,6A	55,6AB	60,1A
T4	15,9B	25,3B	33,7B	46,8A	56,6A	59,4A	60,9A	61,0A	63,7A	64,0A
T5	16,5B	37,9A	47,7A	50,3A	56,9A	56,9A	53,0A	55,4A	63,5A	68,8A
T6	18,4AB	39,6A	49,5A	57,3A	58,7A	59,7A	60,4A	61,7A	63,1A	69,7A

Tabela 11 - Variação do diâmetro da copa (cm) da cultura de citronela com a aplicação do teste Tukey de comparação de médias a 1% de probabilidade.

Tratamentos	0 dia	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	35 dias	42 dias	49 dias	56 dias	63 dias
T1	8,5A	10,3A	12,7A	16,7A	19,7A	19,7A	20,5A	18,8A	20,9B	26,7A
T2	2,8B	4,6B	6,1B	9,3B	11,6B	9,2C	15,3AB	18,0A	20,3A	23,3A
T3	7,4A	10,3A	11,9A	15,0A	15,4AB	15,4AB	19,1A	21,4A	25,0A	26,9A
T4	4,9AB	9,9A	12,2A	10,9B	10,9B	10,9B	16,2AB	19,1A	28,1A	30,0A
T5	5,5AB	7,5A	11,6A	10,6B	12,0B	12,0B	15,3AB	18,4A	23,3AB	29,3A
T6	6,9A	7,4A	9,8A	12,3AB	15,7AB	15,7	15,6AB	18,0A	26,7A	30,8A

Após o período de dez semanas de cultivo, houve colheita da matéria verde das culturas e foram avaliados os dados biométricos referentes ao comprimento da parte aérea, comprimento do sistema radicular, peso verde e seco da parte aérea e do sistema radicular.

Os dados referentes às variáveis foram também estatisticamente analisados pela aplicação da análise de variância e teste Tukey de comparação de médias, utilizando-se do programa SANEST. Na demonstração dos dados, as médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si em nível de 1% de probabilidade.

A análise estatística dos dados referentes ao desenvolvimento vegetativo como a altura da parte aérea e comprimento do sistema radicular, bem como os de produção como os pesos verde e seco da parte

aérea e raízes (tabela 12), demonstram a não existência de efeito dos tratamentos ($P > F = 0,00001$), ou seja, das diferentes concentrações do resíduo utilizadas como fertilizante no fornecimento de potássio e fósforo na produção e desenvolvimento da cultura de hortelã.

A análise estatística dos dados vegetativos e de produção da cultura de citronela (tabela 13), mostrou maior efeito das aplicações das diferentes doses e concentrações do resíduo.

O comportamento dos dados demonstrou que o tratamento em que se utilizou a menor diluição do resíduo foi, em conjunto com a testemunha, o que apresentou os maiores valores para os parâmetros relacionados ao desenvolvimento vegetativo e à produção.

Tabela 12 – Variação dos parâmetros biométricos e de produção da cultura de hortelã com a aplicação do resíduo.

Tratamentos	Centímetros (cm)			Gramas (g)		
	AL.P.Aérea	Comp.Raiz	PVPAérea	PVRaiz	PSPAérea	PSRaiz
T1	24,14 A	12,33 A	11,13 A	4,20 A	2,09 A	2,07 A
T2	19,95 A	13,98 A	9,85 A	15,87 A	2,06 A	3,01 A
T3	15,46 A	9,33 A	5,40 A	3,06 A	0,97 A	1,37 A
T4	19,06 A	13,13 A	7,60 A	4,53 A	1,83 A	2,19 A
T5	10,33 A	7,06 A	5,00 A	3,66 A	1,41 A	2,04 A
T6	17,53 A	11,73 A	13,60 A	9,20 A	2,32 A	6,07 A

Tabela 13 – Variação dos parâmetros biométricos e de produção da cultura de citronela com a aplicação do resíduo.

Tratamentos	Centímetros (cm)			Gramas (g)		
	AL.P.Aérea	Comp.Raiz	PVPAérea	PVRaiz	PSPAérea	PSRaiz
T1	74,96 A	18,05 A	34,66 A	8,80 BC	11,02 A	3,86 A
T2	49,23 B	13,24 AB	25,06 AB	8,93 BC	8,03 AB	3,59 A
T3	20,00 CD	6,13 BC	16,53 BC	5,06 BC	5,38 B	2,19 A
T4	14,86 D	4,20 C	8,00 C	3,20 C	3,90 B	2,04 A
T5	27,93 CD	10,66 ABC	16,06 BC	10,53 B	5,52 B	4,80 A
T6	34,40 BC	18,53 A	22,66 B	19,53 A	6,53 AB	6,19 A

A análise do comportamento dos dados químicos do substrato das culturas (tabela 14) evidencia maiores valores de pH para os tratamentos em que foram utilizadas as maiores doses do resíduo, porém os resultados se encontram na faixa de valores em que ocorre maior disponibilidade de nutrientes nos solos, que é em média de 6,5.

Observou-se aumento nos teores de potássio e fósforo para os tratamentos em que foram utilizadas as maiores concentrações do resíduo. Tal efeito foi benéfico, pois são dois macronutrientes importantes

na nutrição das plantas e, em geral, nossos solos possuem deficiência.

Um efeito nocivo foi a diminuição nos teores de cálcio e magnésio para os tratamentos com as maiores concentrações do resíduo e que também possuem maiores quantidades de sódio e potássio. Tal comportamento está relacionado à competição por sítios de adsorção nos colóides do solo que ocorre com esses nutrientes e os cátions monovalentes sódio e potássio e que pode ser avaliado através da determinação do parâmetro químico RAS (Relação de Adsorção de Sódio).

Tabela 14 - Resultados da caracterização química do solo.

Tratamentos	g/dm ³	V.N.	mg/dm ³	----- mmol/dm ³ -----	
	M.O.	PH	P	K	Ca
T1	27,0 A	5,18 D	19,17 D	2,72 E	43,50 A
T2	28,8 A	6,30 A	41,17 A	34,95 A	30,67 C
T3	29,5 A	5,73 B	35,50 AB	17,50 B	31,17 C
T4	25,5 A	5,43 C	36,50 A	8,85 C	33,00 BC
T5	19,7 B	5,10 D	28,00 BC	6,42 CD	36,00 B
T6	19,7 B	5,02 D	20,83 CD	3,80 DE	41,33 A

Tratamentos	----- mmol/dm ³ ----- %				
	Mg	H+Al	SB	CTC	V%
T1	8,50 ABC	21,50 B	56,87 B	78,37 B	72,64 b
T2	6,17 C	17,00 C	83,02 A	100,02 A	82,93 A
T3	7,17 BC	21,00 B	59,72 B	80,72 B	74,00 B
T4	8,33 ABC	21,83 AB	53,50 B	75,33 B	71,08 BC
T5	9,33 AB	25,17 A	54,48 B	79,65 B	68,49 C
T6	10,17 A	23,67 AB	57,52 B	81,18 B	70,90 BC

A análise dos dados referentes às características de salinização do solo (tabela 15) pela adição do resíduo diluído demonstrou que somente o tratamento em que foi utilizada a dose de 300 ml (sem diluição), que corresponde a 13.62 mg de Na e 7.200 mg de K⁺ por 300 ml de água, apresentou, segundo Vieira (1983), condição de solo salino, pois possui pH < 8,5; C.E. 10³ > 4 e PST < 15.

O tratamento em que se utilizou da dose de 75 ml do resíduo/ 300 ml de água destilada e deionizada, correspondente a 11.35 mg de Na / 300 ml de água e 6.000 mg de K⁺/ 300 ml de água, apesar de apresentar um valor de PST alto, foi inferior ao nível estabelecido por Vieira (1983) para as condições de solo salino. Em relação a possuir característica de alcalinidade,

verifica-se que tal não ocorreu, pois o valor da condutividade elétrica foi inferior ao valor proposto pelo mesmo autor.

Os valores de RAS (Relação de Adsorção de Sódio), foram também maiores para os tratamentos T₂ e T₃ em que foram utilizadas as maiores concentrações do resíduo. Esses resultados estão relacionados à maior capacidade do cálcio e magnésio ficarem adsorvidos aos colóides do solo, tendo em vista que a altas concentrações de cátions monovalentes, principalmente o sódio, diminui a capacidade de adsorção desses dois cátions. Uma ação nociva desse efeito é a maior perda desses macronutrientes por lixiviação, diminuindo seus teores no solo e sua disponibilidade às plantas.

Tabela 15 - Resultados dos parâmetros químicos do solo relacionados às condições de salinidade

Tratamentos	V.N.	mmol _c /dm ³	%	V.N.	V.N.	mS/cm
	pH	Na	PST	RAS	P.O.	C.E.
T1	5,16 D	2,17 D	2,74 C	0,040 E	0,018 C	0,049 C
T2	6,30 A	6,24 A	6,24 A	0,148 A	1,824 A	4,895 A
T3	5,72 B	4,88 B	5,99 A	0,130 B	0,426 B	1,198 B
T4	5,42 C	3,33 C	4,38 B	0,081 C	0,078 C	0,217 C
T5	5,11 D	2,71 D	3,43 C	0,059 D	0,041 C	0,115 C
T6	5,05 D	2,31 D	2,88 C	0,044 DE	0,045 C	0,104 C

Uma das características físico-químicas afetadas pela salinização dos solos está relacionada ao grau de floculação devido às altas concentrações de cátions monovalentes, principalmente o sódio, que é mais agressivo em promover a dispersão dos colóides, diminuindo sua capacidade de agregação com consequente aumento na quantidade de argila dispersa, não floculada, chamada de argila natural ou livre.

O menor valor do grau de floculação, com maior quantidade de argila livre (tabela 16), foi encontrado para o tratamento em que se utilizou 300 ml do resíduo sem diluição, demonstrando o efeito nocivo das altas concentrações de cátions monovalentes, notadamente o sódio, em função de sua alta capacidade

de promover a dispersão dos colóides do solo. O tratamento com 75 ml do resíduo/ 300 ml de água destilada e deionizada também apresentou um valor relativamente baixo para o grau de agregação, porém sem diferir muito da testemunha e das demais diluições do resíduo utilizadas.

Uma ação indireta da dispersão é a ocorrência do aumento da eluviação de argila, ou seja, o transporte vertical no solo desse colóide mineral, pelo movimento descendente da água, originando horizontes de subsuperfície adensados, que dificultam a percolação da água e facilitam a ocorrência de erosão.

Tabela 16 - Resultados da variação dos parâmetros físicos do solo relacionados às condições de agregação.

Tratamentos	%	%	V.N
	Argila total	Argila dispersa em água	Grau de Floculação
T1	40,77 AB	40,43 B	0,0083 A
T2	40,71 C	40,54 A	0,0042 C
T3	40,72 BC	40,45 B	0,0066 B
T4	40,76 ABC	40,43 B	0,0081 A
T5	40,79 A	40,43 B	0,0088 A

CONCLUSÕES

A condução do experimento com as plantas medicinais de hortelã e citronela, utilizando como fonte de potássio, na forma de adubação líquida, um resíduo obtido a partir do processamento de alga marinha, permitiu-nos obter as seguintes conclusões:

- Em relação às culturas estudadas observou-se maior sensibilidade às altas concentrações do resíduo para a cultura de citronela.
- Concentrações acima de 450 mg de K e 0,851 mg de Na /litro de solo elevou a quantidade de argila natural a níveis que provocaram danos na capacidade de agregação do solo.
- Observou-se a existência de antagonismo com relação aos teores entre os cátions monovalentes sódio, potássio com os divalentes cálcio e magnésio. Altas concentrações de sódio e potássio presentes no resíduo aplicado ao solo diminuíram as quantidades de magnésio e cálcio disponíveis.
- Diluições do resíduo aplicadas ao solo com concentrações acima de 1.800 mg de K e 3,40 mg de Na/litro de solo provocaram a salinização.
- Pode-se recomendar a utilização do resíduo, como fonte de potássio para as plantas, desde que : sejam feitas diluições para que a concentração desse nutriente fique abaixo de 450 mg de K e a de sódio de 0,851 Na por litro de solo.

ABSTRACT

The processing of the *kappaphycus alvarezii* seaweed for carragenana production generates a liquid waste which by holding high potassium concentration and lower sodium and phosphorus one could be used as nutrients source for plants nutrition. With the objective to evaluate the agricultural use of this waste by considering the capacity of soil aggregation and the variation of some chemical attributes of one soil type Cambissoil, it was installed an experiment in vegetation house, in the Research Center of IAC in Ubatuba-SP. Different dilutions of waste were used in accordance with the following handling: T1 (0,00 mg of Na and K/300ml of distilled water); T2 (13,62 mg of Na and 7.200 mg of K/300ml of distilled water); T3 (3,40 mg of Na and 1.800mg K/300ml of distilled water); T4 (0,851 mg of Na and 450 mg of K/300ml of distilled water); T5 (0,21 mg of Na and 112,32 mg of K/300ml of distilled water); T6 (0,053 mg of Na and 28,08 mg of K/300ml of distilled water). The evaluation of the influence in the capacity of aggregation of the

soil was made through the analysis of the dispersed clay percentages in water (natural clay or free) and of the dispersed clay percentages with NaOH 1N (flaked clay), determining the variation of the degree of aggregation of the soil. The study of the variation of the chemical attributes of the soil was made with the determination of pH, electric conductivity, calcium contents, potassium, magnesium, sodium, hydrogen + aluminum, capacity of cationic exchange, percentage of saturation of bases and the index to evaluate the salinezation occurrence: PST, RAS and CE. The statistics analysis of the data was made with the application of the analysis of variance and Tukey test of matching of averages, in probability levels of 5% and 1%, by using the SANEST program. Through this analysis, it was observed that the 450 concentrations above of mg of K and 0.851 mg of Na correspondent of a 62,5 ml waste/l water/l soil raised the amount of natural clay the levels that had caused damages in the capacity of aggregation of the soil. The behavior of the electric conductivity, pH, the PST and RAS demonstrated that dilutions above 250 mg of waste/l of water/l of soil with concentrations above 1800 mg of K and 3.40 of Na/300 ml of water can cause the salinezation of the soil. Therefore, for waste utilization as potassium source for the plants we could recommend dilutions so that the concentrations of this nutrient are below of this value.

KEY-WORDS

Industrial waste. Agricultural application. Sodium concentration. Soil salinezation.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. M. et al. Modelagem da concentração de íons no extrato de saturação do solo, na região da Chapada do Apodí- CE. *Rev. Ciência Agronômica*, Ceará, v. 33, n 2, p. 5-12, 2002.
- BALLESTERO, S. D. et al. Caracterização do solo em função do gradiente altitudinal em região de Floresta Atlântica do Estado de São Paulo. In: PROJETO BIOTA. São Paulo: FAPESP, 2004, p. 16. Relatório Cinetífico não publicado.
- BORGES, A. L. Interação entre nutrientes. *Rev. Banana em foco*, Bahia, n. 55. EMBRAPA: Mandioca e Fruticultura. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br.>>. Acesso em: 29 set. 2004.

- BOLT, G. H.; SUMNER, M. E.; KAMPHORST, A. A study of the equilibria between three categories of potassium in an illitic soil. *Proc. Soil Sci. Soc.*, Madison, v. 27, n. 27. p. 294-299, 1963.
- BRAGA, J. M. *Formas de potássio e estabelecimento de nível crítico para alguns solos do Estado de Minas Gerais*. 1972. 143 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.
- CHIRINOS, I. J. *Variação da condutividade hidráulica do solo saturado em função da concentração de sódio presente em soluções e resíduos agro-industrial*. 1992. 67 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.
- DEFELIPO, E.V. *Teores de potássio em solos de Piracicaba e estabelecimento de seu nível crítico*. 1974. 124 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1974.
- DE MARIO, M. et al. *Uso agrícola de resíduo do processamento da alga kappaphycus alvarezii*. 2001, 31 p. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Gerenciamento de Resíduos Industriais e Urbanos)-Departamento de Ciências Agrárias, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solo. *Manual de métodos de análise do solo*. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.
- FERRERA, A.S. et al. Alterações de atributos químicos e biológicos do solo e rendimento do milho e soja pela utilização de resíduo de curtume e carbonífero. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 755-765, jul./ago. 2003.
- GAMA, M. V. Libertação e absorção de potássio em alguns solos. *Rev. Agro. Luzit.* Oeiras, n. 29, p. 99-115, jan./jun. 1967.
- HERRERA, J. Resíduos sólidos ou bens de produção? Novas tecnologias na indústria de celulose e papel. In: SEMINÁRIO AGRONÔMICO DE RESÍDUOS, 1; 1991. Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: 1991, p. 101-126
- KIRKHAM, D; POWERS, W.L. *Advanced soil physics*. New York: Interscience, 1972. 584 p.
- LIMA, J. L.; AMBROSIO, A. C. Solos salinos do nordeste. IN: SIMPÓSIO DE SOLOS DO NORDESTE, 14., 1990, Mossoró. *Anais...* Mossoró, 1990, v.2, p. 275-290.
- MACNEAL, B. L.; COLEMAM, N. T. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Amer. Proc.*, Madison. v.30, p. 308-312, 1966.
- MIRANDA, J. R. P. et al. Silício e cloreto de sódio na nutrição mineral e produção de matéria seca de plantas de moringa. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 957-965, out./dez. 2002.
- MORAIS, F. I; PAGE. A. L; LUND, L. J. The effect of pH, Salt Concentration, and Nature of Electrolytes on the Charge Characteristics of Brazilian Tropical. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, Madison, v. 40, p. 521-527, 1976.
- NASCIMENTO, C. W. A. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Rev. Bras. Ci. Solo*. v. 28, n. 2, p. 385-393, mar./abr. 2004.
- QUIRK, J. P.; SCHOFIELD, R. K. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, v. 6, p. 163-178, 1955.
- RAGAN, M. A.; BIRD, C. J. Utilization of seaweed hydrocolloids in the food industries. *Hidrobiology*, v. 31, n. 47, p. 151-153, 1987.
- SCHERER, E. E. Níveis críticos de potássio para a soja em latossolo húmico de Santa Catarina. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 57-62, jan./mar. 1998.
- SILVA, A, Q. *Efeitos do cloreto de sódio no crescimento, concentração de nutrientes e de sódio e nas características tecnológicas de seis cultivares de sorgo sacarino*. 1983. 132 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.
- SILVA, H. *Efeitos da adubação do sorgo sacarino (Sorghum bicolor (L.) moench) na qualidade do caldo para multiplicação de leveduras e fermentação alcoólica*. 1983, 295 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura, Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983

SUTTON, P.; SEAY, W. A. Relationship between the potassium removed by millet and red clover and the potassium extracted 4 chemical methods from 6 Kentucky soils. *Soil Sci. Amer. Proc.*, Madison, v. 22, p. 110-115, 1958.

VALLE JÚNIOR, F. R. *Efeito da Aplicação de Hidróxido de sódio sobre a disponibilidade real de água de um Latossolo Vermelho Escuro sob cerrado*. 1995. 79 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Lavras, 1995.

VAN RAIJ, B. et al. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1996, 285p.

VIEIRA, L.S.; VIEIRA, M.N.F. *Manual de morfologia e classificação dos solos*. Agron. Ceres, Piracicaba: Agronômica Ceres, 1983, 309 p.

Marcelo De Mário

Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté
Rua da Pedreira, 276, Morro do Felix
CEP: 11680-000 - Ubatuba - SP

Serafim Daniel Ballesterio

Programa de Pós-graduação de Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté

TRAMITAÇÃO

Artigo recebido em: 14/06/2004

Aceito para publicação em: 10/03/2005