

TESTES DE GERMINAÇÃO COM EXTRATO DA ALGA *KAPPAPHYCUS ALVAREZZI* SECO EM TAMBOR ROTATIVO PARA USO COMO BIOESTIMULANTE NA AGRICULTURA

NAIARA B. CAMPOS^{1*}, ALEXSANDRA SCHEIBEL², FRANK M. DA CRUZ², KÁSSIA G. DOS SANTOS^{1,2}, JOSE L. VIEIRA NETO²

¹Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em Química de Minas Gerais

²Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Graduação em Engenharia Química

*e-mail: d201310969@uftm.edu.br

RESUMO - A alga vermelha *Kappaphycus alvarezii*, vem sendo estudada devido a sua facilidade de cultivo e por apresentar um potencial econômico para a população litorânea. Como subproduto da extração da carragenana, têm-se um extrato rico em compostos bioativos, que vem sendo usado na agricultura como bioestimulante. Sua comercialização se dá tanto em fase aquosa, quanto em fase sólida, na forma de pó. Para tal, é necessário secar o extrato em condições de temperatura amena, a fim de não degradar as biomoléculas. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi estudar a secagem do extrato em tambor rotativo com leito de inertes e realizar testes de germinação em sementes de soja para verificar se houve biodegradabilidade das biomoléculas após a secagem. Nos testes de germinação foram avaliados a porcentagem de sementes germinadas e o comprimento e a massa seca das plântulas e das radículas. Os testes de germinação apresentaram maior índice de germinação e maiores comprimentos de radícula e hipocótilo para as sementes tratadas com o extrato *in natura*. Dessa forma, propõe-se a utilização de temperaturas mais amenas para a secagem desse extrato de alga para que os ativos não sejam degradados durante o processo de secagem.

INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira tem sofrido transformações ao longo dos últimos anos, produtos químicos altamente degradantes vêm sendo substituídos por novas tecnologias menos agressivas ao meio ambiente, nesse contexto uma série de novos fertilizantes, que podem garantir lavouras mais sustentáveis, sem agredir a natureza e a saúde dos produtores rurais ganham destaque. Sendo assim, novas fontes de fertilizantes são procuradas, e um estudo que apresenta grande potencial é o uso de algas como bioestimulantes em culturas vegetais. Dentre as várias espécies de algas encontradas uma tem chamado a atenção de pesquisadores, essa alga é a *Kappaphycus alvarezii*.

Os cultivos de *Kappaphycus alvarezii* foram iniciados nas Filipinas na década de 70,

e em apenas dez anos modificou o cenário mundial da indústria de ficocolóides (Areces, 1995) e empregaram mais de 60 mil famílias. O sucesso da maricultura de *Kappaphycus* inspirou a propagação para diversas regiões do mundo (Ask e Azanza, 2002), como Estados Unidos, Japão, Cuba, Venezuela e Brasil (Paula & Pereira 1998). Este sucesso foi devido principalmente às características das espécies cultivadas, como rápido crescimento e metodologias simples de cultivo, isenta de fertilizantes e com base na propagação vegetativa (Mshigeni, 1990).

A produção anual de espécies de *Eucheuma* e de *Kappaphycus* aumentou de cerca de mil para cem mil toneladas de alga seca, de 1971 para 2002, com cifras de US\$ 270 milhões (Ask e Azanza, 2002). Em relação à produção aquícola global, 23% correspondem

ao cultivo de algas, gerando recursos superiores a US\$ 11 milhões, entre 2000 e 2002. *Kappaphycus alvarezii* foi uma das espécies mais produzidas mundialmente, com uma produção de cerca de 4,2 milhões de toneladas (FAO, 2014).

No Brasil, a alga *Kappaphycus alvarezii* foi introduzida experimentalmente na Praia do Itaguá (Ubatuba, SP), em 1995, depois de estudos acadêmicos para a obtenção do conhecimento sobre a biologia deste clone e verificação da possibilidade de cultivá-la neste local sem danos ambientais (Paula e Pereira, 1998). Em 1998, no Estado do Rio de Janeiro, teve início o primeiro cultivo do Brasil em escala comercial. Em 23 de julho de 2008 foi publicada no DOU a IN no 185 (IBAMA), que permitiu o cultivo de *Kappaphycus alvarezii* entre a Baía de Sepetiba (RJ) e a Ilha Bela (SP) regulamentando definitivamente esta atividade no Brasil.

Esta microalga apresentou várias potencialidades como o uso de seu extrato como bioestimulante, devido a sua eficiência agrônômica e as concentrações dos macronutrientes secundários e micronutrientes analisados. A Caracterização química do extrato dessa alga foi estudada por Zodape *et al.* (2009) como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização química do extrato da alga *Kappaphycus alvarezii*

Principais minerais e bioativos em (%)	
N (%)	0,45 – 0,7
P (%)	0,007- 0,01
K (%)	1,60 – 2,10
Na (%)	0,45 – 0,70
Ca (%)	0,04– 0,06
Mg (%)	0,06– 0,07
Mn (ppm)	6 – 9
Fe (ppm)	100 – 160
Cu (ppm)	7 – 11
Zn (ppm)	19 – 25
Co (ppm)	2 – 5
Mo (ppm)	2
Sulfato (%)	1,06 – 1,20
Cloreto (%)	2,36 – 2,70
Matéria orgânica (%)	1,05 – 1,40
IAA (ppm)	25,14
Cinetina (ppm)	8,50
Zeatina (ppm)	20,10
Giberelinas (ppm)	27,10

Fonte: Zodape (2009)

O cultivo dessa alga é muito simples quando comparado a algumas outras algas, sendo assim novos estudos procuram mais produtos além da extração do ficocolóides que possam agregar valor e favorecer o desenvolvimento econômico dos cultivos. Um exemplo disso é o uso do seu extrato na agricultura como bioestimulante (Rathore *et al.*, 2009).

A palavra bioestimulantes recebem algumas definições mundo a fora, nos Estados Unidos por exemplo, sua definição é: “Qualquer substância ou composto diferente de nutrientes primários, secundários e micronutrientes de plantas que podem ser demonstrados por pesquisas científicas como sendo benéficos para uma ou mais espécies de plantas, quando aplicados de forma exógena à planta ou solo”.

No Brasil, bioestimulantes são adubos de origem orgânica, que se apresentam em fase líquida e passam por um processo de fermentação. Esse tipo de fertilizante pode ser feito com qualquer tipo de matéria orgânica fresca e são usados em adubação de cobertura ou como tratamento nutricional sobre os cultivos desejados.

O bioestimulante fornece nutrientes essenciais para as plantas e auxilia no controle de doenças e de insetos por conter microrganismos benéficos ao solo. É aplicado via pulverizações nas folhas ou junto com a água de irrigação, propiciando uma resposta mais rápida que os fertilizantes sólidos. Utiliza-se na concentração de 2% para mudas e 5% para plantas no campo.

Esse extrato pode ser usado líquido sendo pulverizado na planta ou na forma de um pó seco que auxilia na germinação de sementes atuando como um potencial fertilizante orgânico e/ou bioestimulante agrícola.

Para a obtenção do pó seco mencionado anteriormente uma operação unitária se torna imprescindível, a secagem. Ela consiste na retirada de água de um produto por evaporação ou sublimação mediante a aplicação de calor sob condições controladas. Esta operação é muito importante, pois visa à redução do peso e do volume, redução nos custos de transporte e armazenamento.

Existem diversos métodos de secagem e devem ser utilizados conforme o produto a ser

processado. Dentre eles podemos citar: secagem com ar quente, secagem por contato direto com uma superfície quente, secagem por radiação de micro-ondas e liofilização. Para produtos líquidos ou pastosos, pode-se utilizar a secagem por pulverizadores (*spray drying*), a secagem com infravermelho e a secagem com tambor rotativo.

Secadores do tipo rotatório possuem alta capacidade de processamento e flexibilidade de operação, eles são usados em indústrias como as de cimento, fertilizantes e minerais. O equipamento convencional consiste em um tambor cilíndrico, inclinado um pequeno ângulo com a horizontal, esse sistema gira em torno de seu próprio eixo longitudinal, na parte interior desse cilindro existem suspensores que irão promover o cascateamento dos sólidos no interior do secador e melhorar o contato com o ar de secagem que atravessa toda a extensão do tambor. O comprimento do cilindro normalmente varia de quatro a dez vezes o seu diâmetro, que pode medir de 0,2 a mais de três metros (Moyers e Baldwin, 1999).

A alimentação que pode ser uma suspensão, uma lama tratada ou um sólido úmido, é alimentado na parte superior em uma extremidade do equipamento, ela percorre o cilindro devido à ação da gravidade e a inclinação em relação ao solo através de movimentos rotacionais, sendo descarregado na outra extremidade com redução da umidade.

Durante o cascateamento, ou seja, quando o sólido está em contato com o ar ocorre a maior taxa de secagem. Segundo Matchett e Baker (1988), este período corresponde a aproximadamente um décimo do tempo de residência do sólido no secador.

O secador de tambor rotativo pode ser classificado de acordo com a forma de aquecimento gás-sólido, e também conforme o fluxo de ar. Segundo a forma de aquecimento temos, aquecimento direto e aquecimento indireto. No aquecimento direto, o ar quente troca calor diretamente com o material a ser secado. Já no contato indireto a troca de calor ocorre com um involucro e dessa forma o ar de secagem não está diretamente em contato direto com o gás. Quanto a classificação segundo o fluxo de ar, apresenta o fluxo concorrente e o fluxo contracorrente. No fluxo contracorrente o fluxo de gás é contrário a direção do avanço do

material a ser secado, no fluxo concorrente o gás de secagem tem a mesma direção do material que deve ser seco.

O secador rotativo com recheio de inertes possui a mesma configuração do secador convencional, porém em seu interior existem partículas inertes (SRRI), as quais dão suporte ao material a ser desidratado e moído. O ar de secagem passa em contato com o material inerte e com a fina camada de suspensão alimentada, promovendo sua secagem. O SRRI aproveita o uso dos suspensores e da rotação do tambor para promover o cascateamento e a rolagem do material inerte no seu interior.

O uso do recheio inerte torna possível a secagem de pastas e soluções. Seu funcionamento se baseia no princípio de que o elemento úmido se fraciona na superfície da partícula inerte e assim forma uma fina película, onde o processamento de secagem acontece, e também é constantemente renovada pela alimentação do sistema. Com atrito entre os inertes e também devido às colisões do inerte com a parede, a fina película já seca se quebra e é então arrastada pelo ar de secagem, para sua coleta na forma de pó (Kudra e Mujumdar, 2007; Pallai *et al.*, 2007).

Freitas (2017) secou a pasta da alga *Spirulina platensis* utilizando esferas de porcelana de calcita como recheio inerte e obteve rendimento de 60,12% na temperatura 50°C, enchimento 27% e rotação de 60rpm.

Assim, o SRRI apresenta um grande potencial para obtenção de pós secos a partir de pastas e soluções.

Considerando o que foi exposto, o presente trabalho estudou a secagem do extrato em tambor rotativo preenchido com sólidos inertes. Foi avaliado o efeito do enchimento dos inertes no tambor e a intermitência de alimentação da solução, sobre o rendimento de pó obtido, a produtividade de pó e a umidade final do pó. Por fim, foram realizados teste de germinação em sementes de soja. Os testes foram realizados tanto com o pó obtido pela secagem no tambor rotativo quanto com o extrato da alga *Kappaphycus alvarezii* in natura que foi alimentado no tambor. Sendo assim, esses testes tiveram como objetivo verificar se houve inativação dos bioativos presentes no bioestimulante durante o processo de secagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

Secagem no tambor rotativo com leito inerte

Materiais: O Extrato de alga *Kappaphycus alvarezii* foi fornecido pela empresa Bioalgas e apresentou concentração mássica de 3,57%.

Os sólidos inertes utilizados no tambor rotativo foram esferas de porcelana de calcita. Através do teste de picnometria com água foi calculada uma densidade aparente de $2.33 \pm 0.01 \text{ g.cm}^{-3}$ e um diâmetro médio volumétrico de 1,3cm. O teste de empacotamento indicou uma porosidade do leito inerte de $0,38 \pm 0,01$. Assim, calculou-se que 20% e 25% de enchimento do tambor correspondem a uma massa de sólidos inertes de 1030,4 g e 1288 g, respectivamente. A esfericidade do material inerte foi obtida por análise de imagem, empregando o software ImageJ, o valor de circularidade foi de 0,939.

Unidade experimental: A Figura 1 apresenta um esquema da unidade experimental utilizada, similar à empregada por Silva (2019).

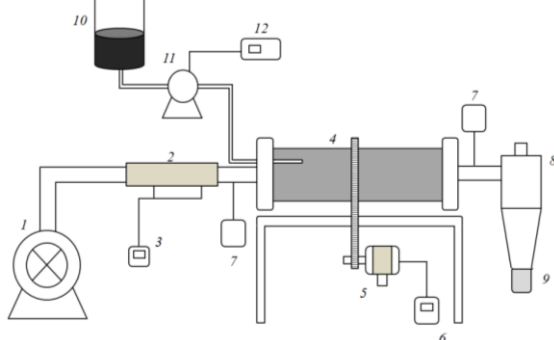


Figura 1: Esquema da unidade experimental utilizada de secador rotatório com recheio inerte:

- 1 - Soprador
- 2 - Resistência elétrica de 4,5 kW
- 3 - Controlador de temperatura
- 4 - Tambor rotatório
- 5 - Motor
- 6 - Inversor de frequência
- 7 - Termopares
- 8 - Ciclone
- 9 - Frasco de coleta do pó
- 10 - Tanque de alimentação da solução
- 11 e 12 - Bomba peristáltica ou sistema de gotejamento.
- 13 - Manga de 200 mesh no *overflow* do ciclone

O SRRI era composto por um sistema de injeção de ar de secagem, por meio de um soprador da marca Hercules, com 4 HP de potência. As tubulações que compunham esse sistema eram de aço com dimensão de 50 mm, na qual havia uma válvula de gaveta, que era responsável pelo controle do fluxo de ar. Uma vez que o soprador causava superaquecimento na linha, mesmo com a resistência elétrica desligada, a temperatura (T) foi controlada por meio de compressas frias colocadas sobre a tubulação, sempre que necessário.

A Figura 2 apresenta as duas formas de alimentação do extrato avaliadas neste trabalho: (a) utilizando uma bomba peristáltica; (b) empregando um sistema de gotejamento por gravidade. A alimentação por gotejamento foi implementada por meio de um recipiente em formato cilindro de plástico e uma mangueira fina, que fazia a ligação entre o recipiente e o tambor rotativo, esse sistema foi reutilizado da aplicação de cálcio endovenosa em bovinos.

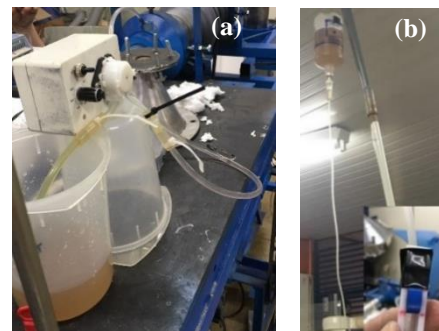


Figura 2: Sistemas de alimentação avaliados: (a) bomba peristáltica, (b) sistema de gotejamento

O tambor rotativo tinha 40 cm de comprimento e 10,82 cm de diâmetro, contendo 3 suspensores retos, distribuídos num ângulo de 120° . A rotação do tambor foi realizada empregando um motor Weg com 1 HP de potência, com o auxílio de um sistema de correia e polias, sendo o ajuste da rotação feito pelo inversor de frequência. A coleta do pó foi realizada em um ciclone Lapple, com $D_c = 10,5$ cm. Para evitar que as esferas cerâmicas saíssem para o ciclone ou adentrassem na tubulação, foram colocadas duas telas de alumínio, uma na entrada de ar no cilindro rotativo e outra na saída do mesmo.

Testes preliminares: A fim de definir a melhor forma de alimentação da solução no tambor e as vazões de trabalho, foram realizados alguns testes preliminares. Foram testados três tipos de alimentação: com a bomba peristáltica na vazão mínima de trabalho; inserção da solução com uma seringa, e sistema de alimentação por gotejamento com 10 mL/min e 20 mL/min.

No entanto, a alimentação com a seringa apresentou um vazamento no tambor, não sendo possível finalizar o experimento.

Assim, foram realizados 3 testes preliminares. Os testes A e B foram realizados com a bomba peristáltica, em uma vazão calibrada de 20 mL/min, sendo o teste A com 20% de enchimento e 5 min de intermitência e o teste B com 25% de enchimento e 10 min de intermitência. O teste C foi realizado com o gotejador a 20 mL/min, com enchimento de 25% e 5 min de intermitência. Como a vazão calibrada da bomba não ficou constante e não atingiu valores de 10 mL/min, e uma vez que os testes de gotejamento a 20 mL/min resultaram em vazamentos, optou-se por trabalhar na próxima etapa com o sistema de gotejamento a vazão constante de 10 mL/min.

Planejamento experimental fatorial 2²: A fim de estudar o efeito de dois fatores (X1: % de enchimento e X2: tempo de intermitência de alimentação da solução no tambor), foi realizado um planejamento fatorial com 2 níveis. A alimentação do extrato foi realizada por gotejamento sem a reposição do fluido, na vazão de 10 mL/min. A alimentação foi gerenciada de forma intermitente.

Quanto ao procedimento experimental, inicialmente, o material inerte foi pesado de acordo com o enchimento proposto pelo planejamento experimental, e inserido no tambor. Em seguida, encontrou-se a faixa de rotação permitida pela unidade experimental. Assim todos experimentos foram realizados em 110 ± 5 rpm.

Após a montagem da unidade experimental, mediu-se a velocidade do ar no *overflow* do sistema através de um anemômetro. Com o auxílio da válvula de retenção, foi ajustada a vazão de ar de trabalho em $1,94 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, para todos os testes.

O frasco de coleta do pó, encaixado no *overflow* do ciclone era pesado antes e após a secagem para obter a massa de pó seco. O mesmo foi feito com o filtro manga posicionado no *overflow* do ciclone, para coleta dos particulados mais finos.

Trabalhou-se com uma temperatura entre 65 e 70°C. Quando a temperatura atingiu esse valor, deu-se início a alimentação da solução, com vazão definida pelo planejamento. A alimentação ocorreu por 2 min, sendo interrompida pelo tempo de intermitência definido pelo planejamento experimental, até que fossem alimentados os 200 mL de solução.

Ao final do experimento, o frasco do *underflow* e o filtro do *overflow* foram pesados em balança analítica e obtida a massa total de sólidos secos. O rendimento do processo (R) foi calculado pela razão entre a massa de pó coletada e a massa seca de pó presente na alimentação. A produtividade (P) de pó foi calculada pela razão entre a massa de pó coletada e o tempo total do experimento.

Outra resposta avaliada foi a umidade final em base úmida do pó. Assim, foi realizado o teste de umidade final do pó em estufa (105°C por 24 h), em triplicata.

A fim de avaliar o desempenho da unidade experimental, foi realizado um mapeamento das perdas de pó no processo de secagem de alguns dos testes. Para tal, a tubulação que ligada o cilindro rotativo ao ciclone e o ciclone foram lavados com cerca de 200 mL de água destilada. Esse volume era colocado num frasco já com sua massa anotada e levado a estufa, o mesmo processo se repetia para as esferas cerâmicas. Com isso as perdas foram calculadas. Todo o processo descrito acima era realizado novamente quando a intermitência na alimentação mudava, ou o próprio sistema de alimentação também era trocado.

Após a secagem, foram obtidas imagens do pó em microscópio ótico, com aumento de 1600x.

Testes de germinação

Materiais: Para a realização dos testes de germinação foram utilizados os pós obtidos pela secagem do extrato no tambor rotativo e o

extrato de alga *Kappaphycus alvarezii* in natura fornecido pela empresa Bioalgas que foi alimentado no tambor rotativo. Tanto para os pós quanto para o extrato in natura foram preparadas soluções com concentração de sólidos de 1g/L que foram utilizadas para embeber os papéis germitest utilizados nos testes de germinação.

Metodologia de realização dos testes: Foram realizados testes de germinação, de vigor de plântula e de crescimento radicular em sementes de soja tratadas com ativos inseticidas utilizando os pós obtidos nas secagens do extrato in natura no tambor rotativo. Para efeito de comparação também foram realizados testes de germinação em sementes testemunhas tratadas com água destilada e no extrato in natura da alga *Kappaphycus alvarezii* fornecido pela empresa Bioalgas.

A partir desses testes foram avaliadas a porcentagem de sementes germinadas, o comprimento e a massa seca das plântulas e das radículas das sementes germinadas.

Os testes foram realizados seguindo a metodologia para testes de germinação do manual de “Regras para Análise de Sementes” do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Para cada teste foi utilizada uma quantidade de cem sementes, as quais foram germinadas em folhas de papel germitest embebido em uma quantidade equivalente a 2,0-3,0 vezes o peso do papel.

Foram realizados seis testes de germinação sendo que em quatro deles as sementes foram tratadas com soluções de concentração 1g/L dos extratos secos obtidos nos experimentos de 1 a 4; um dos testes foi realizado com solução de concentração 1g/L do extrato líquido *in natura* fornecido pela empresa Bioalgas e no outro teste foi utilizada uma testemunha para efeito de comparação. Para a testemunha o papel germitest foi embebido com água destilada, enquanto para as sementes tratadas com as soluções preparadas pela dissolução do pó obtido na secagem dos experimentos e pela diluição do extrato *in natura* fornecido pela empresa Bioalgas o papel germitest foi embebido com as respectivas soluções. As sementes foram dispostas nas

folhas de papel germitest e mantidas em estufa de germinação por um período de nove dias.

Após esse período foram realizadas a contagem e as medições das radículas e cotilédones das sementes germinadas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Secagem no tambor rotativo com leito inerte

Os testes preliminares foram realizados a fim de estipular a melhor forma de alimentação da solução e definir quais as vazões possíveis de trabalho no equipamento. As condições operacionais e os resultados dos testes preliminares encontram-se na Tabela 5, que compara os testes com a alimentação pela bomba e pelo gotejamento (com vazões de 10 e 20 mL).

De acordo com a Tabela 5, o teste A apresentou o maior rendimento, com recuperação de 46,77% do material seco alimentado. Porém esse sistema de alimentação usando a bomba peristáltica falhou ao manter a vazão de alimentação real no valor definido durante a calibração. Assim, era para ter sido alimentada uma quantidade de 200 mL, porém ao finalizar o teste, o volume real inserido do tambor foi de aproximadamente 142 mL. Desta forma, a vazão real não alcançou os 20 mL/min obtidos nas calibrações, tanto para a corrida A e para a B. É importante ressaltar que a presença do ar de secagem a alta velocidade dentro do secador pode ter influenciado e alterado a vazão de alimentação. Portanto, este tipo de alimentação foi descartado por não garantir a vazão de alimentação na condição que havia sido calibrada.

Comparando os testes A e B, observa-se que maior tempo de intermitência e uma maior temperatura do Experimento A podem ser as responsáveis pelo alto rendimento e produtividade.

Nota-se que os testes C e D conseguiram operar em uma vazão próxima à desejada. Assim, apesar da dificuldade e da complexidade na calibração do sistema de gotejamento, optou-se por trabalhar com esta forma de alimentação. Comparando os testes C e D, observa-se que o experimento com a maior vazão de alimentação resultou em um

rendimento menor que 10%. Além disso, o teste C também apresentou alguns vazamentos de líquido próximo à flange do tambor. Como conclusão dos testes preliminares, optou-se por

trabalhar com uma vazão fixa de alimentação de 10 mL/min.

Tabela 5: Condições operacionais e resultados de rendimento (R[%]), produtividade (P[g/h]) e umidade final do pó (Ubu [%]) para os testes preliminares empregando diferentes formas de alimentação do extrato.

Condições operacionais						Respostas		
Exp.	Forma de alimentação	T [°C]	E [%]	I [min]	Vazão real [mL/min]	R [%]	P [g/h]	Ubu [%]
A	Bomba	76,87	20	10	14,2	46,77	2,37	4,23
B	peristáltica	69,82	25	5	14,2	20,3	1,76	3,08
C	Gotejamento	65,12	25	5	19,0	9,54	1,12	1,30
D		65,80	25	5	10,0	17,20	1,18	2,2

Fonte: Dos Autores, 2021

O planejamento fatorial 2^2 avaliou dois níveis de enchimento do tambor (20 e 25%) e dois tempos de intermitência (5 e 10 min). A Tabela 6 traz os resultados obtidos em cada teste do planejamento experimental. A partir desses dados, foi realizada uma análise estatística para avaliar os efeitos das duas variáveis sobre as respostas de rendimento,

produtividade e umidade final do pó, que se encontra na Tabela 7. É importante ressaltar que não é possível avaliar se os efeitos são estatisticamente significativos, uma vez que não há réplicas no planejamento, mas o valor dos efeitos indica qual variável é mais importante no processo.

Tabela 6: Resultados de rendimento (R[%]), produtividade (P[g/h]) e umidade final do pó (Ubu [%]) para os testes do planejamento fatorial 2^2 .

Experimento	Fatores		Respostas avaliadas		
	E [%] (X1)	I [min] (X2)	R [%]	P [g/h]	Ubu [%]
1	20 (-1)	5 (-1)	25,67	1,98	2,40±0,35%
2	20 (-1)	10 (+1)	30,51	1,18	1,42 ±0,64
3*	25 (+1)	5 (-1)	17,20	1,18	2,2±0,55%
4	25 (+1)	10 (+1)	28,68	1,38	1,43±1,24

* Equivale ao Experimento preliminar D.

Fonte: Dos Autores, 2021

Tabela 7: Análise dos efeitos das variáveis X1 (E[%]) e X2 (I [min]) e da interação X1X2 sobre as respostas avaliadas planejamento fatorial 2^2 .

Efeitos sobre as respostas avaliadas na secagem do tambor rotativo			
Fatores	R [%]	P [g/h]	Ubu [%]
Média	25,52	1,43	1,86
X1	-5,15	-0,30	-0,10
X2	8,16	-0,30	-0,88
X1X2	3,32	0,50	0,10

Fonte: Dos Autores, 2021

Ao analisarmos os efeitos dos fatores sobre o rendimento de pó, observa-se uma recuperação média de pó de 25,5%, sendo que a faixa de rendimentos encontrada foi de 17,2 a 30,51%. A variável que mais influenciou o rendimento foi X2, indicando que quanto maior o tempo de intermitência, maior o rendimento. Isto ocorre porque valores menores desse

parâmetro, temos um excesso de umidade dentro do tambor rotativo, assim a grande quantidade de líquido umidifica o ar e reduz a transferência de massa, o que também interfere no arreste do pó seco para o ciclone de coleta. Um alto tempo de intermitência permite que o líquido alimentado evapore com maiores taxas, pois há tempo para que a temperatura dentro do

tambor se reestabeleça após a alimentação. Já em baixos tempos de intermitência, Silva (2019) relatou que o tempo de intermitência mais indicado para altos rendimentos foi de cerca de 10 min, o que justifica os resultados encontrados neste trabalho.

Já a variável X1 apresentou efeito inverso sobre o rendimento. No entanto, comparando-se os testes 2 e 4 (ambos com 10 min de intermitência), observa-se que o

rendimento reduziu de 30,51% para 28,68%, ou seja, houve redução de apenas 6%, indicando que a faixa de enchimento estudada não causa grandes alterações na resposta quando se trabalha com o tempo de intermitência adequado.

É possível observar na superfície de resposta da Figura 4(a), que o maior rendimento foi obtido no experimento 2, realizado com 20% de enchimento de sólidos e I= 10 min.

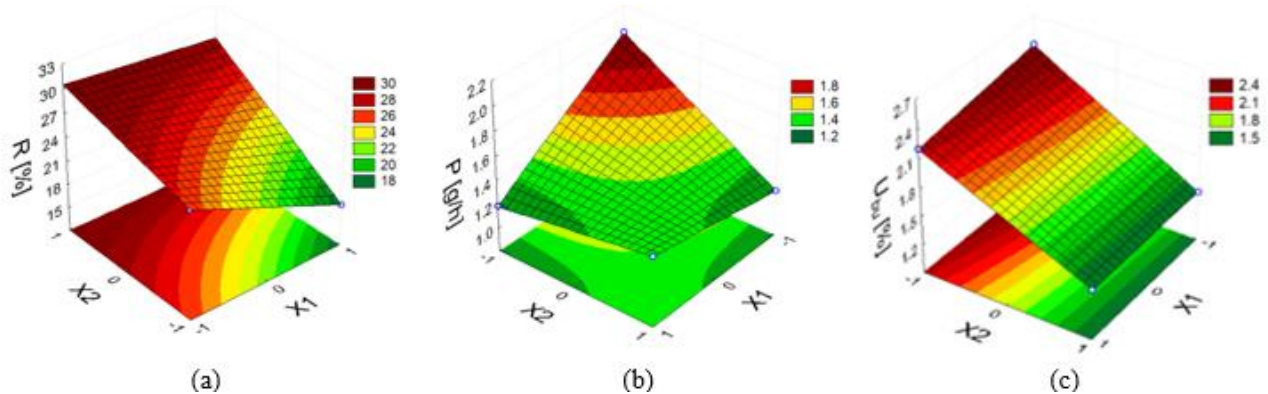


Figura 4: Superfícies de respostas mostrando o efeito dos fatores X (E[%]) e X2 (I[*min*]) sobre as respostas: (a) rendimento; (b) produtividade; (c) % de umidade residual no pó.

A faixa de produtividade obtida variou entre 1,18 a 1,98 g/h. Os efeitos isolados de X1 e X2 mostram que o aumento de E e I levam à uma diminuição da produtividade. Uma justificativa seria que ao aumentar o enchimento do leito inerte, aumenta-se a área superficial. Isto seria bom para a secagem, mas apenas se não houver alta retenção de pó na partícula inerte, o que parece ter ocorrido neste caso. Quanto à intermitência, maiores tempos de intermitência levam a um maior tempo de experimento, o que reduz a produtividade, definida pela razão entre massa de pó e tempo. No entanto, a interação X1X2 foi o efeito mais significativo. De acordo com a superfície de resposta, uma combinação de menor grau de enchimento e menor intermitência leva à uma maior produtividade. Nesses casos, sempre é preciso fazer uma análise da umidade final do pó, pois as condições de maior produtividade, muitas vezes, levam a pós com alta umidade residual, o que pode aumentar a atividade de água e a favorecer a proliferação de microrganismos que degradam o material.

Quanto à análise da umidade residual, observa-se que esta variou de 1,42 a 2,4%, o que é considerado uma umidade baixa. Através

dos valores dos efeitos e da superfície de resposta, observa-se que apenas a intermitência está influenciando a umidade final, sendo menores tempos de intermitência geram um pó mais úmido. Como os pós coletados apresentaram baixa umidade residual, e no geral os testes obtiveram baixo rendimento, acredita-se que há uma forte adesão desse pó dentro do leito, tanto nas paredes do secador quanto nas esferas inertes. Isto pode estar ligado ao fato de que todos os experimentos foram feitos em temperatura próxima à temperatura de transição vítrea do extrato da alga. No entanto, a temperatura dos experimentos foi limitada neste trabalho, não sendo possível trabalhar com temperaturas menores.

A fim de analisar onde ocorreram as perdas de sólido que reduziram o rendimento, as esferas, o leito e o ciclone foram lavados ao final dos experimentos 1,2 e 4. A Tabela 8 mostra as porcentagens de sólido aderidos nas superfícies das esferas inertes, nas paredes do tambor e do ciclone.

Em média, cerca de 13,3% dos sólidos alimentados ficaram aderidos nas esferas de porcelana, independente da condição de estudo. Esse fato pode ser explicado levando em

consideração a composição do material das esferas inertes que torna sua superfície levemente rugosa.

Já nas paredes do tambor, houve uma retenção entre 9,3 e 15,78%, sendo que as maiores perdas ocorreram nos maiores tempos de intermitência. Era esperado que, em maiores rotações ocorressem baixos valores de perdas, pois essas rotações favorecem o cascadeamento e a limpeza do cilindro. No entanto, a rotação do tambor adotada neste trabalho foi bem superior à de outros trabalhos da literatura, o

que pode ter ocasionado um maior número de colisões partícula-parede a ponto de intensificar a adesão do pó nas paredes do tambor.

Uma vez que a umidade do pó coletado no ciclone é baixa, houve uma menor retenção nas paredes do ciclone, de cerca de 3,6%. As perdas totais identificadas foram entre 27,36 e 33,26%. As perdas não identificadas podem ser devido à saída de pó fino pelo filtro manga no *overflow* do ciclone, bem como alguns vazamento de líquido no flange do tambor.

Tabela 8: Mapeamento das perdas de pó durante o processo de secagem, devido à adesão nas superfícies das partículas e paredes do tambor e ciclone.

Exp.	Fatores		Perdas de sólido aderido em diferentes superfícies (%)			
	E [%] (X1)	I [min] (X2)	Esferas	Parede do tambor	Paredes do ciclone	Perdas totais
1	20 (-1)	5 (-1)	13,47	9,26	4,63	27,36
2	20 (-1)	10 (+1)	12,30	15,13	2,57	30,00
4	25 (+1)	10 (+1)	14,02	15,77	3,47	33,26

Fonte: Dos Autores, 2021

No caso dos testes realizados neste trabalho, a condição de trabalho que traria menor custo operacional seria o experimento 1, pois apresenta a maior produtividade de pó (1,98 g/h) e o menor tempo de experimento, o que reduziria os gastos de eletricidade devido ao aquecimento e alimentação de ar e rotação do tambor.

A Figura 5 mostra a imagem dos pós obtidos nos experimentos de 1 a 4, com ampliação de 1600x.

Não é possível visualizar as partículas isoladas ou comparar os sólidos obtidos em cada experimento, o que indica que o pó formado é muito fino. Isto corrobora com o fato de que as perdas de pó fino não coletados na manga, na saída do ciclone, podem ser altas. Assim, é indicada uma análise de distribuição de tamanho desse pó, a fim de redimensionar o ciclone.

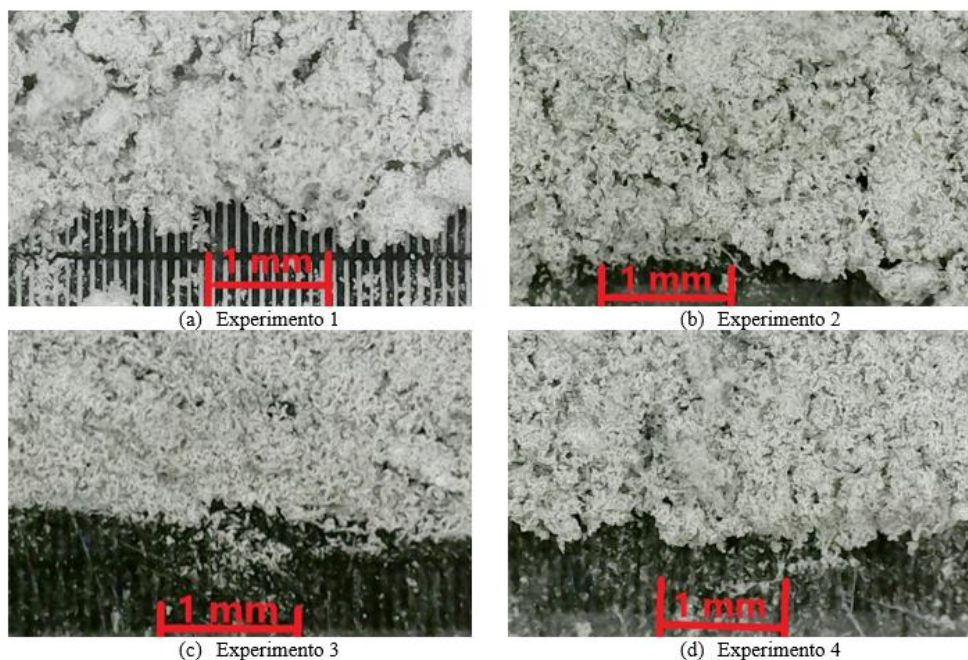


Figura 5: Imagem dos bioestimulantes em pó, com zoom de 1600x para os experimentos de 1 a 4.

Testes de germinação

Foi verificado que o extrato da alga *Kappaphycus alvarezii* apresenta atividade como bioestimulante para a cultura de soja, visto que as sementes tratadas com o bioestimulante *in natura* fornecido pela empresa Bioalgas apresentaram maiores taxas de germinação e maiores comprimentos de radícula e hipocótilo em comparação com as sementes testemunhas tratadas com água destilada.

Em contrapartida, os testes de germinação realizados com os pós obtidos das secagens no tambor rotativo não apresentaram resultados tão relevantes quanto os testes realizados com o extrato *in natura*, embora ainda apresentassem resultados melhores do que a testemunha.

Dessa forma, dos seis testes de germinação realizados aquele que apresentou melhores resultados foi o tratado com o extrato *in natura*. A Tabela 9 apresenta os valores das médias e desvios das somas dos comprimentos das radículas e hipocótilos para cada um dos testes realizados.

Tabela 9: Média e desvio padrão da soma dos comprimentos do hipocótilo e da radícula dos testes de germinação

Teste	Média [cm]	Desvio
Testemunha	18,6310	6,5826
Extrato <i>in natura</i>	21,3964	7,2970
Experimento 1	18,7919	6,5270
Experimento 2	18,6667	7,9919
Experimento 3	19,5051	7,0136
Experimento 4	18,0483	6,8941

Fonte: Dos Autores, 2022

Através do tratamento estatístico dos dados foi possível afirmar que não houve diferença entre as médias dos experimentos e da testemunha. Sendo assim, foi realizada a análise da distribuição normal dos testes com a testemunha, extrato *in natura* e o experimento 1 que foi o que apresentou melhor resultado entre os quatro experimentos.

A Figura 6 apresenta a distribuição normal dos dados obtidos dos testes realizados com a testemunha, extrato *in natura* e extrato

em pó obtido pela secagem do experimento 1. A partir da análise da figura observa-se que, estatisticamente, os resultados obtidos nos testes de germinação dos experimentos de 1 a 4 foram iguais ao resultado obtido para a testemunha e apenas o extrato *in natura* apresentou diferença de acordo com o teste de hipóteses para a diferença entre as médias.

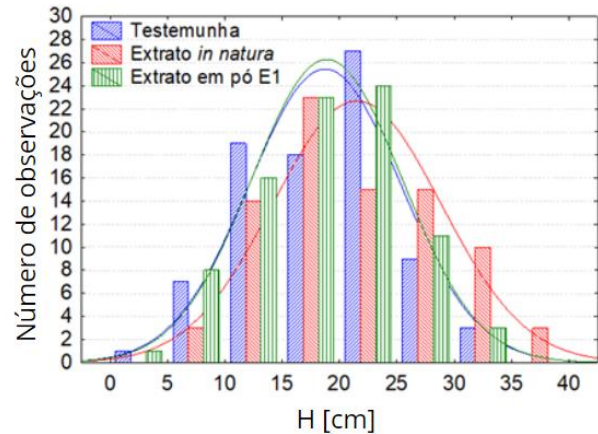


Figura 6: Distribuição normal dos testes realizados com a testemunha, extrato *in natura* e extrato em pó obtido pela secagem do experimento 1

Sendo assim, a secagem do extrato em tambor rotativo inativou os ativos diminuindo a atividade desse extrato. Possivelmente as temperaturas utilizadas para a secagem do extrato foram o fator determinante para a inativação do mesmo.

Posto isto, propõe-se a utilização de temperaturas mais amenas para a secagem dos extratos de alga *Kappaphycus alvarezii* para que os ativos responsáveis por essa atividade não sejam degradados durante o processo de secagem.

CONCLUSÃO

Através deste trabalho foi possível concluir que as variáveis (Enchimento e Intermitência) interferiram no rendimento da secagem, logo o controle dessas variáveis é muito importante para esse processo. Por meio dos experimentos notou-se que o tipo de alimentação também tem influência direta no rendimento da secagem. No entanto, seria indicado testar também a aquisição de uma bomba peristáltica com menores vazões e maior precisão.

A condição de maior rendimento não coincidiu com a maior produtividade. Assim, apesar de não ter o maior rendimento, as condições do experimento 1 (menor enchimento de 20% e menor tempo de intermitência e 5 min) apresentaram a maior produtividade de pó, além de ter o menor custo operacional.

O uso do secador rotatório com uso de inertes (SRRI), foi satisfatório do ponto de vista operacional sendo que o produto final obtido se encontra na forma de um pó fino o que facilitaria seu uso na agricultura na forma de bioestimulante, porém, do ponto de vista agrônomo, o teste de germinação provou que a secagem do extrato promoveu uma perda da atividade dos seus bioativos. Possivelmente as temperaturas utilizadas para a secagem do extrato foram o fator determinante para a inativação desses bioativos.

Desta forma, propõe-se a realização de outros testes de secagem em temperaturas mais amenas com o intuito de minimizar a degradação dos bioativos presentes no extrato.

REFERÊNCIAS

- ARECES, A. J. (1995), Cultivo comercial da carragenófitas del género *Kappaphycus* Doty. In Alveal, k. et al. (eds.). Manual Metodos Ficológicos. Chile: Universidad de Concepción, p. 529-549.
- ASK, E. I.; AZANZA, V. (2002), Advances in cultivation technology of commercial eucheumatoid species; a review suggestions for future research. *Aquaculture*, v. 206, p. 257-277.
- COSTA, A. M. (2015), Avaliação do potencial do extrato da macroalga marinha *Kappaphycus alvarezii* como fertilizante orgânico, para uso via tratamento de semente e pulverização foliar na cultura de soja, 57 p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade do Oeste do Paraná, Cascavel, PR.
- DOS SANTOS, C. A. C. et al. (2013), Stimulate® na Germinação de Sementes, emergência e Vigor de Plântulas de Girassol. *Bioscience Journal*, v. 29, n. 2, p. 605–616.
- FAO. (2014), The state of world fisheries and aquaculture. Rome, 243 p.
- FREITAS, L.V.D. (2017), Estudo sobre a desidratação de microalgas em secador rotatório. Monografia de Conclusão de Curso. Faculdade de Engenharia Química. Universidade Federal de Uberlândia.
- KUDRA, T.; MUJUMDAR, A. S. (2007), Special Drying Techniques and Novel Dryers. Em: MUJUMDAR, A. S., Handbook of Industrial Drying, Cap 20, p. 454-515, 3a Edição, CRC Press - Taylor & Francis Group, Boca Raton-EUA.
<https://doi.org/10.1201/9781420017618.ch20>
- LIMA, M. D.; AVILA, D. G. L. F.; CAMPOS, S. P. A. G.; NASCIMENTO, M. S.; BARROZO, S. M. A.; DUARTE, R. C. (2014), Influência do diâmetro e velocidade de rotação no carregamento ideal de tambor rotatório com suspensores, XIX Jornada em Engenharia Química.
- MATCHETT, A. J., BAKER, C. G. J. (1988), Particle residence times in Cascading rotary dryers. Part 2: Application of the two-stream model to experimental and industrial data, *Journal of Separation Process Technology*, v. 9.
- MOYERS, C. G. and BALDWIN, G. W. (1999), Psychrometry, Evaporative Cooling and Solids Drying. In: PERRY, R. H.; GREEN, D. W.. Perry's Chemical Engineers' Handbook. Nova York, Estados Unidos, Ed. Mac Graw-Hill, 7 th edition, Cd-ROM, p. 12-1: 12-90.
- MSHIGENI, K.E. & CHAPMAN, D.J. (1994), Hypnea (Gigartinales, Rhodophyta). Em: I. Akatsuka (ed.), *Biology of Economic Algae*. SPB Academic Publishing, Haia, p. 245–281.
- PALLAI, E.; SZENTMARJAV, T.; MUJUMDAR, A. S. (2007), Spouted Bed Drying. Em: MUJUMDAR, A. S., Handbook of Industrial Drying, Cap 14, p. 363-385, 3a Edição, CRC Press - Taylor & Francis Group, Boca Raton-EUA.
<https://doi.org/10.1201/9781420017618.ch14>

- PAULA, E. J. & PEREIRA, R. T. L. (1998), Da "marinomia" a maricultura da alga exótica, *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex. Silva (Rhodophyta) para produção de carragenanas no Brasil. *Panorama da Aqüicultura*, p. 10-15.
- PEDRA, M. L. G. A. (2015), Crescimento e produção de compostos bioativos da macroalga *Kappaphycus alvarezii* cultivada *in vitro* com efluente de bioflocos e extrato de *Ascophyllum nodosum*, 2015, 46 p. Dissertação (Mestre em Aqüicultura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Aqüicultura, Florianópolis, SC.
- PICKERING, T. (2006), Advance in seaweed aquaculture among Pacific Island countries. *Jornal al Apllied Phycology*, v. 18, p. 227-234.
- RABELLO, A. A.; RESENDE, C. U.; GOMES, O. C. F.; MACHADO, R. A. M.; MARTINS, C. E.; SOARES, V. I. (2021), Utilização da radiação infravermelha na secagem de amostras de banana, *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, PR, v.7, n.4, p. 39317-39330,. SSN: 2525-8761. DOI:10.34117/bjdv7n4-407.
- RATHORE, S. S. et al. (2009), Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. *South African Journal of Botany*, v. 75, p. 351-355.
- SANTOS, R.L.; BRANDÃO, R.J.; NUNES, G.; DUARTE, C.R.; BARROZO, MAS (2021), Analysis of particles collisions in a newly designed rotating dryer and its impact on the Camu-Camu (*Myrciaria dubia*) pulp drying, *Drying Technology*. DOI: 10.1080/07373937.2021.1915795
- SEC AGRICULTURA SP. (2020), Secretaria de Agricultura apresenta sucesso das pesquisas com algas marinhas. Agrolink. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/sec-retaria-de-agricultura-apresenta-sucesso-das-pesquisas-com-algas-marinhas_433566.html/. Acesso em: 15 de nov. de 2021.
- SILVA, N. C. (2019), Uso de metodologias alternativas na secagem de diferentes materiais visando a preservação de compostos bioativos, 2019. 188 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química, Uberlândia, MG.
- SILVÉRIO, C. B. (2012), Estudos fluidodinâmicos e de secagem de fertilizantes em diferentes tipos de secadores rotatórios, 2012, 164 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química, Uberlândia, MG.
- SOUZA, G. F. M.V. (2013), Secagem de sementes de soja em leito fixo: equilíbrio e cinética da sílica gel para controle de umidade, modelagem do processo e análise da qualidade das sementes. 2013. 157p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- ZODAPE, S. T. et al. (2009), Effect of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex silva. extract on grain quality, yield and some yield components of wheat (*Triticum aestivum*, L.). *International Journal of Plant Production*, v. 3, n. 02, p. 97-101.