

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS REOLÓGICOS DA SUSPENSÃO DA MICROALGA *CHLORELLA SP*

P.H.G. VINHAL*, M.S. CRISTIANINI, H.S. SAADE, D.H.P. GUIMARÃES, C.C. LOURES,
M.B. SILVA

Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia
Química

*e-mail: Pedro.hvinhal@gmail.com

RESUMO

A produção de combustíveis renováveis obteve um grande impulso nos últimos anos, com o aumento do preço dos combustíveis e as crescentes preocupações com questões ambientais. Dentre as diversas matérias primas disponíveis na produção de biocombustíveis, as microalgas surgem como uma alternativa sustentável devido à elevada produtividade e à falta de necessidade de solos produtivos e água com qualidade. Levando em conta o interesse crescente na utilização das microalgas como matéria prima na produção do biodiesel, o objetivo do presente trabalho foi determinar os parâmetros reológicos de suspensões da microalga *Chlorella sp* em diferentes tempos de cultivo, sob seis diferentes condições de temperatura, salinidade e níveis de CO₂, NO₃ e PO₄, de modo a, posteriormente, estimar as demandas energéticas de cada etapa. Para cada uma dessas condições foram feitos testes em reômetro rotacional de cilindros concêntricos (Brookfield, LVDV). Os resultados mostraram que a suspensão da microalga *Chlorella sp* trata-se de um material com características dilatantes, visto que o índice de comportamento, em todos os casos, resultou em valores superiores a 1.

1 INTRODUÇÃO

A crise do petróleo, nas décadas de 70 e 80, suscitou diversos estudos referentes à pirólise de triglicerídeos. Com o risco de esgotamento de algumas fontes de energia, especialmente a energia fóssil que não apresenta perspectivas de renovação, há uma motivação para o desenvolvimento de tecnologias que permitam utilizar fontes renováveis de energia. Ademais, a crescente preocupação da sociedade com questões ambientais deve influir nas decisões dos dirigentes quanto às possibilidades de utilização das fontes energéticas. Dentro deste aspecto, os combustíveis fósseis, tais como o

óleo diesel e a gasolina são os mais criticados, devido à produção de uma quantidade de CO₂ que o planeta não tem condições de assimilar a longo prazo, causando o chamado efeito estufa, e também pela possibilidade de emissão de óxidos de enxofre. Tais combustíveis pertencem à categoria dos combustíveis não biodegradáveis que, durante o uso dos mesmos, emitem compostos poluentes à atmosfera (Azeredo, 2012).

O biodiesel, por se tratar de um combustível derivado de óleos vegetais e gorduras animais, é um combustível biodegradável, com baixa emissão de compostos poluentes na atmosfera, podendo, desta maneira, ser considerado o combustível

do futuro. Estimulados por um catalisador, tais óleos reagem quimicamente com álcool. Existem diferentes espécies de oleaginosas no Brasil que podem ser usadas para produzir o biodiesel. Entre elas estão a mamona, dendê, canola, girassol, amendoim, soja e algodão. Matérias-primas de origem animal, como o sebo bovino e gordura suína, também podem ser utilizadas na fabricação do biodiesel (Costa Neto, 2000; Ferrari et al., 2005; Albuquerque, 2006; Dantas, 2006; Barbosa, 2007; Sharma, 2008; Silva Filho, 2010; Basha, 2009; Fitzpatrick et al., 2010; Dogaris et al., 2013).

No entanto, projetos experimentais realizados em todo o mundo têm destacado as microalgas como fonte de produção do biodiesel. Estes organismos apresentam inúmeras vantagens sobre as culturas terrestres tradicionais na produção de biocombustíveis, tais como a elevada eficiência na conversão da luz solar em biomassa, a possibilidade de cultivo em terrenos impróprios para culturas alimentares e de utilização de águas não potáveis para a produção de biomassa, a acumulação de lipídios, capacidade de sorção de metais pesados (Hg, Zn, Pb e Cu, por exemplo), fácil e rápido crescimento celular e capacidade de crescer em meios com altas concentrações de CO₂ (Lehninger, 1990; Lourenço, 2006; Huntley, 2007).

Apesar de ser um processo ainda pouco explorado em grande escala, a obtenção de energia a partir das microalgas ganha adeptos em muitas partes do mundo, como nos Estados Unidos, Alemanha, Israel, Bélgica, França e Nova Zelândia, os quais desenvolvem pesquisas nesta área. O incentivo à utilização de microalgas como fonte de matéria prima para produção de biocombustíveis (como o biodiesel, o biogás e o bioetanol), é decorrente dos grandes avanços da engenharia de biosistemas nesse meio, mas que ainda apresenta grandes lacunas a serem otimizadas. Além de outros

desafios, a utilização de biorreatores contínuos para o crescimento celular ainda é tido como um campo relativamente pouco estudado. O cultivo em modo de operação contínuo é de grande vantagem, quando comparado aos modos em batelada e semi batelada, em números em produtividade celular (Richmond, 2004; Lourenço, 2006).

Numa linha de pesquisa desse tipo, o comportamento reológico ocupa posição de destaque, pois todos os materiais envolvidos no processo têm comportamento não newtoniano e devem ser submetidos a todo tipo de operações unitárias como agitação, mistura, trocas de calor, movimentação por bombas especiais, separações e outras que podem advir da concepção e desenvolvimento de todo o processo (Lira, 2011).

Das observações anteriores, pode-se notar a importância de criteriosa caracterização reológica para os diferentes tipos de alimentação em reatores, já que os dados de viscosidade usados nos projetos de equipamentos devem ser determinados com a máxima precisão possível, evitando-se um sub ou superdimensionamento. Ademais, os dados reológicos são de fundamental importância na economia de energia, o que nas últimas décadas se tornou extremamente importante a ponto de cada vez mais as operações de troca de calor e massa serem encaradas de forma mais minuciosa (Queiroz, 1998; Pelegrine, 1999; Silva et al., 2005).

Considerando-se a escassez de informações a respeito de dados reológicos na literatura científica, o presente trabalho teve como objetivo analisar o comportamento reológico de suspensões da microalga *Chlorella sp* em diferentes tempos de cultivo, em reatores dos tipos batelada, assim como obter os parâmetros reológicos das mesmas, de modo a estimar as demandas energéticas de cada etapa, visando à otimização na construção de um biorreator tubular de alimentação contínua para o cultivo celular desta microalga.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo em questão, foi utilizada a microalga *Chlorella sp.*, oriunda de Cabo Frio, RJ, (chlor-CF), que foi gentilmente doada pelo Departamento de Oceanografia Biológica do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

O trabalho teve como objetivo analisar o comportamento reológico de suspensões da microalga *Chlorella sp.* em diferentes tempos de cultivo, em reatores do tipo batelada, de modo a otimizar todas as etapas da produção do biodiesel, a partir da microalga *Chlorella sp.*, desde o seu cultivo em fotobiorreatores.

2.1 Cultivo das microalgas para a produção do biodiesel:

Para cada série de cultivo, todo o material de vidraria a ser usado foi lavado em água corrente, rinsado com água destilada e autoclavado a 121°C durante 20 minutos. Para os erlenmeyers de ensaio, foram utilizados como tampa pedaços de papel alumínio (Xia et al., 2011).

A inoculação das microalgas foi feita próximo à chama de lamparina, e o cultivo, em sala climatizada. A iluminação foi feita com lâmpadas fluorescentes de 40 W. A intensidade luminosa foi medida com um luxímetro (AKSO, modelo AK 308) e a temperatura da sala mantida constante por um aparelho de ar-condicionado tipo quente/frio. O cultivo foi feito numa adaptação no Laboratório do Meio Ambiente, coordenado pelo prof. Messias B. Silva, na qual consta uma sala, de aproximadamente 8 m², isolada de luz difusa e portada de um aparelho de ar-condicionado portátil quente/frio, para controle total de luz artificial e de temperatura.

Todos os reagentes utilizados na preparação dos meios de cultivo foram de padrão analítico, e o meio de cultivo básico, para manutenção do cultivo mãe, foi da

seguinte composição: sal marinho (1 g/L), NaNO₃ (75 g/L), NaH₂PO₄·H₂O (5 g/L), FeCl₃·6H₂O (3,15 g/L), Na₂EDTA (4,3 g/L), ZnSO₄·7H₂O (22,2 mg/L), MnCl₂·4H₂O (180 mg/L), Na₂MoO₄·2H₂O (6,3 mg/L), CoCl₂·6H₂O (10 mg/L), CuSO₄·5H₂O (9,8 mg/L), Tiamina (100 mg/L), Cianocobalamina (0,5 mg/L) e Biotina (0,5 mg/L) (Guillard, 1975).

As soluções de estoque, utilizadas na preparação do meio de cultivo foram autoclavadas a 110 °C, com exceção da solução de vitaminas (Tiamina, Cianocobalamina e Biotina), às quais foram filtradas através de filtros de 0,22 µm de tamanho de poro.

A cepa da microalga *Chlorella sp.* utilizada nesse estudo foi mantida em uma incubadora confeccionada em madeira e dotada de um fotoperíodo, controlada por um temporizador. A intensidade luminosa fornecida foi de 15 W por uma lâmpada fluorescente.

Para manutenção de um banco de células, foi feita a repicagem em erlenmeyers de volume de 125 mL, com volume útil de 100 mL, com fotoperíodo de 12 h: 12 h (luz/escuro) e luminosidade média de 4,8 klux. As repicagens foram feitas em períodos de 10 a 15 dias, na proporção de 10 mL de cultura antecessora para 90 mL de meio de cultivo novo, e os frascos foram agitados de forma manual uma vez ao dia.

O crescimento microalgal foi acompanhado por análise de absorvância em espectrofotômetro UV-Vis modelo Bel Photonics, selecionando o comprimento de onda de 570 nm para a realização das leituras, de acordo com Lourenço (2006). Montou-se uma curva analítica relacionando a concentração de biomassa seca (g/L) com a absorvância a 570 nm, onde o desenvolvimento da microalga foi analisado sob diferentes condições de temperatura, salinidade, volume da suplementação e

concentração mássica de gás carbônico, nitrato e fosfato, conforme a tabela 1.

Tabela 1: Faixa dos diferentes fatores ambientais no cultivo da microalga.

Fator	Parâmetro		Nível Baixo (-)	Nível Alto (+)
A	CO ₂	(%)	0 (%)	2 (%)
B	NO ₃ ⁻	(g/L)	0,25 (g/L)	0,50 (g/L)
C	PO ₄ ⁻³	(g/L)	0,35 (g/L)	0,65 (g/L)
D	Suplementação	(mL)	1 (mL)	2 (mL)
F	Temperatura	(°C)	20 (°C)	30 (°C)
G	Salinidade	(g/L)	15 (g/L)	30 (g/L)

A análise do desenvolvimento da microalga foi feita em oito diferentes condições ambientais, representadas na tabela 2.

Tabela 2 – Condições dos diferentes fatores ambientais no cultivo da microalga.

Teste	CO ₂	NO ₃	PO	Suplem.	Temperatura	Salinidade
1	+	+	-	+	-	-
2	+	+	-	-	+	+
3	+	-	+	+	-	+
4	+	-	+	-	+	-
5	-	+	+	-	-	+
6	-	-	-	+	+	+

2.2 Análises reológicas do material:

As medidas experimentais foram feitas no reômetro Brookfield modelo LVDV-3T, com temperatura controlada por um banho termostático que circula na camisa onde se insere o recipiente destinado a armazenar o fluido durante o ensaio.

Os ensaios foram realizados em triplicata a 25°C, sendo utilizada uma nova amostra para cada repetição. O sistema de medidas utilizado nesta determinação foi o de cilindros concêntricos, o qual consta de dois cilindros, sendo que apenas um deles gira à uma certa velocidade angular, enquanto o outro permanece imóvel. Este aparelho mantém uma velocidade de rotação constante

que corresponde a certa taxa de deformação, e a tensão de cisalhamento é obtida através da medida do torque no cilindro de medida, que se mantém fixo. Consequentemente, estabelecendo-se várias velocidades angulares para o cilindro rotacional e detectando-se o torque correspondente no cilindro de medida, as curvas reológicas podem ser obtidas, para determinado fluido. Como nos ensaios iniciais constatou-se que a suspensão da microalga *Chlorella sp* apresentou comportamento reológico de um fluido não Newtoniano, julgou-se interessante a análise da variação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação. Para isto, utilizou-se uma haste tipo cilíndrica coaxial SC4-31, compatível com os acessórios Thermosel e adaptador para pequenas amostras SSA com câmara SC4-13R, nos reômetros das séries LV, em aço inoxidável # 304. Neste adaptador, utiliza amostras de 10,0 ml.

O instrumento dispõe de software, no qual torna-se possível programar os intervalos de tempo entre cada leitura, registrando dados de taxa de deformação, tensão de cisalhamento, viscosidade e temperatura.

Os resultados obtidos foram processados com o software ORIGIN 7.0, e as curvas obtidas ajustadas aos modelos reológicos de Casson, Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) e Bingham, sendo também determinado o grau de tixotropia do material, além dos seguintes parâmetros estatísticos:

R^2 - coeficiente de determinação - mede a proporção da variação total da média explicada pela regressão, definido como a soma quadrática total.

X^2 - qui-quadrado - expressa a diferença entre os valores previstos pelo modelo e os valores obtidos experimentalmente.

A verificação da existência de tixotropia foi feita através da avaliação das curvas de escoamento obtidas, variando-se a taxa de deformação (ou a tensão de cisalhamento), durante um período de tempo,

mantendo-se a temperatura constante. Após o ensaio, se o fluido for tixotrópico ou reopéctico, nota-se a presença da histerese: quando a curva relativa ao aumento da taxa de deformação não coincide com a curva de decréscimo da mesma, no reograma.

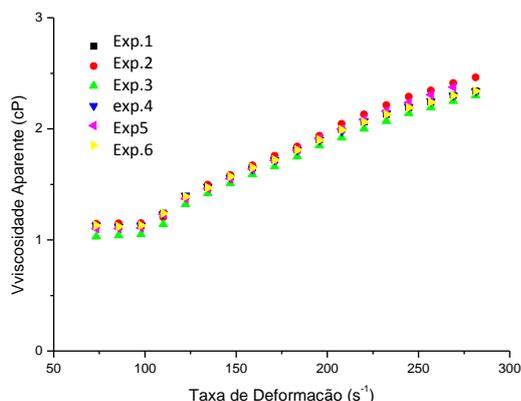
A quantificação do valor da tixotropia foi feita através de leitura direta no equipamento, o qual foi programado para seguir as etapas propostas por Nascimento (2007) e seguidas por Shiroma (2012), as quais consistem em:

- i. Aumentar a taxa de deformação de 0 a γ_M por um período t_1 ;
- ii. Manter a taxa de deformação γ_M por um período t_2 ;
- iii. Reduzir a taxa de deformação, de γ_M para 0 por um período t_1 .

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os gráficos da viscosidade aparente em função da taxa de deformação obtidos nas diferentes condições do experimento encontram-se na Figuras 1. Nessa figura, os resultados apresentados são as médias das triplicatas experimentais

Figura 1 - Viscosidade aparente da suspensão de *Chlorella sp*, nas diferentes condições de processo.



Da Figura 1 observa-se que, para a suspensão da microalga *Chlorella sp*, obtida a partir de diferentes condições de processo, a sua viscosidade aparente aumentou o aumento na frequência de rotação (a qual é diretamente proporcional à taxa de deformação), em todos os casos. Por outro lado, durante a realização das três repetições para medidas de viscosidade, para a mesma condição de processo, pôde-se observar que os valores das viscosidades aparentes não foram tão próximos, o que indica que há indícios de que tal suspensão apresenta uma certa tixotropia, ou seja, a sua viscosidade aparente diminuiu com o tempo, para uma dada frequência de rotação, possivelmente devido à sedimentação das partículas em suspensão. Tal observação foi comprovada ao analisar o grau de tixotropia da suspensão da microalga *Chlorella sp*: para todas as condições de processo, o índice de tixotropia resultou no valor de 0,5. Estes resultados estão coerentes com diversos autores, para suspensões de algas em geral: as mesmas apresentam comportamento reológico de fluido dilatante e, uma explicação para este tipo de comportamento é que, à medida que a tensão de cisalhamento aumenta, o líquido intersticial que lubrifica a fricção entre as partículas é incapaz de preencher os espaços, devido a um aumento no volume que frequentemente acompanha o fenômeno, ocorrendo contato direto entre as partículas sólidas, fazendo com que a viscosidade aparente aumente (Tischer, 2006; Brangel, 2011). Poucos estudos que discutem as propriedades reológicas de hidrocolóides, sendo a grande maioria dos trabalhos realizados com a kappa-carragenana (Tecante e Doublier, 2002; Tester e Sommerville, 2003; Verbeken et al., 2004; Shi e Bemiller, 2002; Tye, 1988).

Com relação às oito diferentes condições de processo, a Figuras 1 mostra que

há uma certa tendência do fluido tornar-se menos viscoso quando a suspensão da microalga *Chlorella sp* for tratada com baixos teores de NO_3 , suplementação e menor salinidade do meio (experimentos 3 e 8). Por outro lado, observa-se na Figura 1 que as curvas estão próximas umas das outras, o que sugere que as diferentes condições de processo pouco influenciam na viscosidade da suspensão de *Chlorella sp*, independente do tratamento.

A Tabela 3 apresenta os valores dos parâmetros obtidos através do ajuste dos modelos de Bingham, Casson e Lei da Potência aos reogramas correspondentes à Figura 2, para as condições de processo correspondentes aos experimentos 1, 2, 3, 4, 6 e 7. Nesta tabela, cada parâmetro corresponde ao valor da média dos valores nos diferentes tempos de cultivo e os valores entre parênteses, o desvio padrão.

Tabela 3: Parâmetros reológicos da suspensão da microalga *Chlorella sp*.

Exp.	Bingham			Casson			Potência		
	η	τ_0	R^2	K_c	K_{0c}	R^2	n	K	R^2
1	2,82 (0,13)	0 (0)	0,98	4,33 (0,19)	0,97 (0,07)	0,99	1,61 (0,01)	0,075 (0,01)	0,99
2	3,08 (0,11)	0 (0)	0,98	4,92 (0,24)	1,27 (0,12)	0,99	1,68 (0,017)	0,056 (0,01)	0,99
3	2,89 (0,19)	0 (0)	0,99	4,61 (0,25)	1,18 (0,05)	0,99	1,68 (0,03)	0,053 (0,01)	0,99
4	2,94 (0,149)	0 (0)	0,98	4,59 (0,33)	1,10 (0,18)	0,99	1,62 (0,04)	0,07 (0,01)	0,99
6	3,04 (0,12)	0 (0)	0,98	4,84 (0,25)	1,25 (0,14)	0,99	1,67 (0,04)	0,06 (0,01)	0,99

Da tabela 1 pode-se observar que tanto o modelo de Bingham quanto os de Casson e Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) proporcionaram bons parâmetros de ajuste, apresentando elevados para o coeficiente de determinação (r^2). Os resultados apresentados nas tabelas reforçam a teoria de que a suspensão de microalgas *Chlorella sp* apresenta comportamento reológico de fluidos dilatantes, visto que os valores dos índice de comportamento foram superiores a 1. Além disto, os valores da tensão inicial foram nulos

quando os dados foram ajustados ao modelo reológico de Bingham; quando ajustados ao modelo reológico de Casson, tais valores foram próximos a zero. Neste ponto, vale ressaltar que as condições de processo não influenciaram no tipo de comportamento reológico, apesar de exercer efeito no índice de consistência.

NOMENCLATURA

- η \Rightarrow Viscosidade Plástica (cP)
 τ_0 \Rightarrow Tensão inicial (dyne/cm²)
 K_c \Rightarrow Viscosidade Plástica de Casson (cP)
 K_{0c} \Rightarrow Tensão inicial de Casson (dyne/cm²)
 n \Rightarrow índice de comportamento
 K \Rightarrow índice de consistência (cP)

CONCLUSÃO

Dos resultados apresentados no item 3, pode-se concluir que a suspensão da microalga *Chlorella sp*, para qualquer condição de processo, apresentou comportamento reológico típico de um fluido dilatante, embora a suspensão tenha apresentado uma certa tixotropia.

Ademais, o tempo de processamento praticamente não exerceu influência nos reogramas.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, G.A.; CONCEIÇÃO, M.M.; SILVA, M.C.D.; SANTOS, I.M.G.; FERNANDES, V.J.; SOUZA, A.G. Avaliação reológica e caracterização físico-química do biodiesel de canola e misturas. In: **Anais do Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel**, Brasília. RTBT, 175-179, 2006.

AZEREDO, V.B.S. **Produção de biodiesel a partir do cultivo de microalgas: estimativa de custo e perspectivas para o Brasil.** 2012. 171p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BARBOSA, A.L.P.B. **Biodiesel de mamona em trator agrícola na operação de preparo do solo.** 2007. 75p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual Paulista.

BASHA, S.A.; GOPAL, K.R.; JEBARAJ, S. A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance. **Renewable and Sustainable Reviews**, v. 13, p. 1628-1634, 2009.

COSTA NETO, P.R.; ROSSI, L.F.S.; ZAGONEL, G.F.; RAMOS, L.P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, v.23, n.4, p.531-537, 2000.

DANTAS, M.B. **Obtenção, caracterização e estudo termoanalítico de biodiesel de milho.** 2006. 205p. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

DOGARIS, I.; GKOUNTA, O.; MAMMA, D.; KEKOS, D. Bioconversion of dilute-acid pretreated bagasse to ethanol by *Neurospora crassa*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.95, n.2, p.541-550, 2013.

FITZPATRICK, M.; CHAMPAGNE, P.; CUNNINGHAM, M.F.; WHITNEY, R.A. A biorrefinery processing perspective: treatment lignocellulosic materials for the production of value-add products. **Bioresource Technology**, v.101, n.23, p.8915-8922, 2010.

FERRARI, A.R.; OLIVEIRA, V.S. SEABIO, A. Biosiesel de soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, v.28, n.1, p.19-23, 2005.

GUILLARD, R. R. L. **Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates.** In: SMITH, W. L.,

CHANLEY, M. H. (Eds.). **Culture of marine invertebrate animals.** New York: Plenum, 1975.

HUNTLEY, M. E., REDALJE, D. G. CO₂ mitigation and renewable oil from photosynthetic microbes: a new appraisal. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.12, p.573-608, 2007.

LEHNINGER, A. L. **Princípios de Bioquímica.** São Paulo: Savier, 1990.

LIRA, R.A. **Estudo do rendimento de biomassa da microalga nativa *Chlorella sp* visando a obtenção de biocombustíveis.** 2011. 119p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa.

LOURENÇO, S. O. **Cultivo de microalgas marinhas: princípios e aplicações.** São Carlos: RiMa. 2006.

NASCIMENTO, C.R. **Ensaio em reômetro rotacional tipo cilindros coaxiais.** Comunicação Técnica elaborada para o livro tratamento de Minérios: Práticas laboratoriais – Centro de tecnologia Mineral.

PELEGRINE, D.H. **Comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi.** 1999. 79p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas.

QUEIROZ, A.J. **Análise do comportamento reológico dos sucos de manga e abacaxi**. 1998. 109p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas.

RICHMOND, A. **Handbook of microalgae culture: biotechnology and applied phycology**. Oxford: Blackwell Science, 2004.

SHARMA, Y.C. SINGH, B.; UPADHYAY, S.N. Advancements in development and characterization of biodiesel: a review. **Fuel**, v.87, n.12, p.2355-2373, 2008.

SHI, X.; BeMILLER, J.N. Effects of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting. **Carbohydr. Polymers.**, v. 50, p. 7-18, 2002.

SHIROMA, P.H. 2012. 130p. Estudo do comportamento reológico de suspensões aquosas de bentonita e CMC: Influência da concentração do NaCl. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade de São Paulo.

SILVA, F, C; PELEGRINE, D.H.G.; GASPARETTO, C.A. Reologia do suco de acerola:efeitos da concentração e da temperatura. **Revista da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.1, p. 121-126, 2005.

SILVA FILHO, J.B. **Produção de biodiesel etílico de óleos e gorduras residuais (ogr) em reator químico de baixo custo**. 2010. 57p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

TECANTE A.; DOUBLIER, J.L. Rheological investigation of the interaction between amylase and κ -carrageenan. **Carbohydr. Polymers.**, v. 49, p. 177-183, 2002.

TESTER, R.F.; SOMMERVILLE, M.D. The effects of non-starch polysaccharides on the extent of gelatinization, swelling and α -amylase hydrolysis of maize and wheat starches. **Food Hydrocol.**, v. 17, p. 41-54, 2003.

TISCHER, P.C.S. **Estrutura química, propriedades reológicas e atividade antiviral das galactanas sulfatadas das algas vermelhas Meristiella gelidium e Gymnogongrus (gigartinales)**. 2006. 174p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica e Biologia Molecular, Universidade Federal do Paraná.

TYE, R.J. The rheology of starch/carrageenan systems. **Food Hydrocol.**, v. 4, p. 259-266, 1988.

VERBEKEN, D.; THAS, O.; DEWETTINCK, K. Textural properties of gelled dairy desserts containing κ -carrageenan and starch. **Food Hydrocol.**, v. 18, p. 817-823, 2004.

XIA, C., ZHANG, J., HU, B. A new cultivation method for microbial oil production: cell pelletization and lipid accumulation by *Mucor circinelloides*. **Biotechnology for biofuels**, v.4, p.4-15, 2011.

AGRADECIMENTOS

À Fapesp.