



## Influência do teor de quitosana na morfologia e propriedades térmicas e mecânicas das misturas de polipropileno

J. R. M. B. da Silva<sup>1</sup>, B. F. F. dos Santos<sup>1</sup>, D. D. Siqueira<sup>2</sup>, L. H. Carvalho<sup>2</sup>, S. M. L. Silva<sup>2</sup>, I. F. Leite<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia de Materiais, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba  
Cidade Universitária, Castelo Branco, CEP 58051-900, João Pessoa-PB, Brasil

<sup>2</sup>Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande  
Rua: Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58429-900, Campina Grande-PB, Brasil

(Recebido em 29/04/2014; revisado em 27/10/2014; aceito em 08/11/2014)  
(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo:

A mistura de polímeros sintéticos com polímeros naturais surgiu como alternativa de obtenção de novos materiais, especialmente, para embalagens, onde estas podem ser degradadas pela ação de microrganismos como bactérias e fungos, reduzindo assim o tempo de vida útil desses materiais e poluindo menos o meio ambiente. Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da quitosana na morfologia e propriedades térmicas e mecânicas de misturas de polipropileno, PP, preparadas pelo método de intercalação por fusão. As misturas PP/CS foram preparadas num misturador interno acoplado ao Reômetro de Torque Haake a 190°C, 60rpm por 10 min nas proporções: 9010, 8020, 7030 e 6040, respectivamente, com e sem o composto CS/AN 10:1 usado como agente compatibilizante. Pode-se observar que a estabilidade térmica da mistura PP/CS foi melhorada com a diminuição do teor de quitosana. A presença do CS/AN 10:1 nas misturas PP/CS promoveu mudanças significativas nas temperaturas de fusão e na velocidade de cristalização das misturas em relação as do PP puro, assim como, favoreceu numa discreta melhoria em suas propriedades tênséis. Tal comportamento se deve ao fato do CS/AN 10:1 ter atuado como agente compatibilizante.

**Palavras-chave:** Quitosana; polipropileno; misturas; morfologia; propriedades.

### Abstract:

The mixture of synthetic polymers with natural polymers emerged as an alternative for obtaining new materials, especially for packaging, where they can be degraded by the action of microorganisms such as bacteria and fungi, thereby reducing the shelf life of these materials and less polluting the environment. This work aims to evaluate the effect of chitosan on morphology and thermal and mechanical properties of blends of polypropylene, PP, prepared by melt intercalation. PP/CS mixtures were prepared in an internal mixer coupled to a Haake torque rheometer at 190 ° C, 60 rpm for 10 min in the proportions: 9010, 8020, 7030 and 6040, respectively, with and without the compound CS/AN 10: 1 used as coupling agent. It can be seen that the thermal stability of the mixture PP/CS was improved with the decrease of content of chitosan. The presence of CS/AN 10: 1 mixtures in PP/CS promoted significant changes in melting temperature and crystallization rate of mixtures of the pure PP, as favored in a slight improvement in their tensile properties. Such behavior is due to the CS/AN 10:1 have acted as coupling agent.

**Keywords:** Chitosan; polypropylene; mixture; morphology; properties.

### 1. Introdução

A síntese de novos materiais com desempenho e propriedades otimizadas constitui uma área em constante expansão em Ciência dos Materiais. Um avanço significativo nesta área tem ocorrido com a síntese de misturas poliméricas constituídas de polímeros naturais com polímeros sintéticos. Esta classe de materiais tem despertado grande interesse de pesquisadores nas últimas décadas por se tratar de uma alternativa simples, prática e de baixo custo para se obter novos materiais com características e propriedades adequadas

para diversos campos tecnológicos, especialmente, para o setor de embalagens [1-3] uma vez que, grande parte dos polímeros convencionais empregados neste setor é resistente a ataques químicos e biológicos, o que faz com que estes materiais levem mais de uma centena de anos para se decompor [4].

Para gerenciamento dos problemas decorrentes da poluição ambiental gerada pelos resíduos plásticos, são propostas três soluções: reciclagem, incineração e uso de polímeros biodegradáveis. Dentre essas alternativas, os polímeros biodegradáveis têm sido alçados a uma posição de

\*Email: [itamaraf@gmail.com](mailto:itamaraf@gmail.com) (I. F. Leite)

destaque, uma vez que pode ser degradado pela ação de microrganismos como bactérias e fungos, reduzindo assim o tempo de vida útil desses materiais e poluindo menos o meio ambiente [4].

Dentre os polímeros biodegradáveis existentes, a quitosana tem despertado muito interesse, em razão da sua alta biodegradabilidade, atoxicidade, biocompatibilidade, obtenção a partir de fontes renováveis e versatilidades em função das possibilidades de se produzir diversas misturas poliméricas. É bastante usada na agricultura, tratamento de água, indústria alimentícia, indústria de cosméticos e de grande aplicação na área biomédica [5,6]. Mais recentemente a quitosana vem sendo usada na mistura com polímeros sintéticos como um dos meios de minimizar a problemática causada pelo acúmulo de plásticos no meio ambiente e as limitações de desempenho dos polímeros biodegradáveis [7]. Assim, a mistura da quitosana com outros polímeros sintéticos que possuam melhores propriedades de engenharia é um método mais rápido, versátil e de baixo custo para se obter um produto com possibilidades de aplicação e com características biodegradáveis [4]. Esta alternativa já é bem conhecida, pois o estudo de misturas de polímeros sintéticos com polímeros biodegradáveis é alvo de diversas pesquisas há alguns anos [4,8,9].

O polipropileno (PP) é um polímero sintético, semicristalino e não biodegradável, sendo o segundo termoplástico mais vendido no mundo e utilizado em uma infinidade de aplicações. Apresenta alta massa molar, alta cristalinidade (60-70%), temperatura de transição vítrea de 4-12°C, temperatura de fusão cristalina de 165-175°C [10], sendo praticamente inerte quando colocado na presença de microrganismos [4]. Nesse sentido, uma mistura formada pelo PP e pela quitosana torna-se um estudo estratégico e pouco investigado na literatura, sendo possível aliar a biodegradabilidade da quitosana à processabilidade e às características térmicas do PP. Além disso, o fato dos dois materiais possuírem temperaturas de fusão muito próximas permite a viabilidade do processamento da mistura [4]. Existem poucos trabalhos na literatura que trata de misturas de PP com outros polímeros biodegradáveis, como por exemplo o poli(3-hidroxibutirato)(PHB) [4] e a celulose [4,11,12]. No entanto, existe uma carência de estudos na literatura sobre misturas de PP com quitosana, tratando-se, portanto, de uma nova mistura que possui um amplo campo de investigação. Com base nesse contexto, este trabalho tem como finalidade avaliar o efeito do polímero quitosana na morfologia e propriedades térmicas e mecânicas de blendas de PP, preparadas pelo método de intercalação por fusão.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Materiais

O polipropileno isotático, PP H103 (índice de fluidez de 40 dg/min a 230°C/2,16 Kg e densidade de 0,905 g/cm<sup>3</sup>) e a quitosana, CS, sob a forma de pó com grau de desacetilação de 95%, fornecidos pela Braskem/Bahia e pela Polymar,

Fortaleza/CE, respectivamente, foram usados na preparação das misturas poliméricas.

A bentonita Argel 35, AN (capacidade de troca catiônica (CTC) de 0,92 meq/g de argila), fornecida pela Bentonit União Nordeste (BUN), Campina Grande/PB sob a forma de pó foi usada na preparação do agente compatibilizante.

Ácido acético glacial foi usado como solvente para a quitosana. O hidróxido de sódio foi empregado para ajustar o pH da solução de quitosana bem como assegurar a completa neutralização do composto. Estes reagentes foram fornecidos pela Vetec/São Paulo.

### 2.2. Métodos

As misturas PP/CS com e sem agente compatibilizante (Tabela 1) foram preparadas em um misturador interno do reômetro de torque Haake, operando a 190°C, 60 rpm por 10min.

O composto CS/AN 10:1, a ser usado como agente compatibilizante nas misturas PP/CS foi preparado em nosso laboratório, cujo procedimento de preparação foi realizado em duas etapas:

#### 1ª Etapa: Preparação da Solução de Quitosana

A solução de quitosana a 1% (m/v) foi preparada a uma concentração 1% (v/v) de ácido acético sob agitação magnética a 45 °C por 2h. Em seguida, a solução polimérica foi filtrada a vácuo para, então, ser ajustada o pH da mesma para 4,9 com adição de uma solução de hidróxido de sódio 1M, sob agitação constante.

#### 2ª Etapa: Preparação do Composto Quitosana/Bentonita

Dispersão bentonita/água destilada foi preparada a 50 °C por 1h sob agitação mecânica. Em seguida, a dispersão foi adicionada à solução de quitosana numa razão 10:1 de CS/AN e mantida sob agitação mecânica a 45 °C por 4h. A mistura quitosana/bentonita 10:1 foi vertida em placas de Petri e acondicionada a temperatura ambiente por 7 dias para a formação de filmes. Obtidos os filmes, os mesmos foram cobertos com uma solução de hidróxido de sódio a 1M por 20min para assegurar a neutralização dos resíduos de ácido. Em seguida, mergulhados em água destilada por 2h até pH neutro e secos a temperatura ambiente. Os filmes quitosana/bentonita 10:1 foram codificados como CS/AN 10:1. Em seguida, os filmes foram triturados para obtenção de sólidos sob a forma de pó. As composições estudadas estão apresentadas na Tabela 1.

### 2.3. Caracterização

As misturas PP/CS foram analisadas por: difração de raios X, DRX (temperatura ambiente, Siemens, Bruker aXs D5000, radiação  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ ), tensão de 40 kV e corrente de 30 mA) em um intervalo  $2\theta$  entre 2,0 a 30,0° e velocidade de varredura de 1°/min; análise termogravimétrica (TG) (Shimadzu DTG-60H, Simultaneous DTA-TG

Apparatus), de 30 a 900°C a uma taxa de 10°C/min sob atmosfera de argônio; Calorimetria Exploratória Diferencial, DSC, (DSC-60 da Shimadzu, TA-60 WS - Thermal Analyzer), taxa de 10°C/min sob atmosfera de argônio (as amostras foram aquecidas de 30 a 200°C, mantidas por 3min a 200°C, sendo então, resfriadas até temperatura ambiente e reaquecidas até 200°C).

As misturas PP/CS com e sem agente compatibilizante foram testadas mecanicamente sob tração segundo a norma ASTM D882. O ensaio de tração foi conduzido em uma máquina universal de ensaios da Shimadzu, modelo Autograph – AG – X – 10 KN, empregando uma célula de carga de 20 N e uma taxa de deslocamento de 50 mm/min. As propriedades do teste de tração foram resultados médios de no mínimo 5 corpos de prova por composição.

Tabela 1. Composições das blendas PP:CS com e sem agente compatibilizante

Amostra	PP/CS	PP (g)	CS (g)	CS/AN* (g)
PP/CS	9010	45	5	0,05
	8020	40	10	0,10
	7030	35	15	0,15
	6040	30	20	0,20

\*CS/AN 10:1 refere-se ao teor em grama de agente compatibilizante (quitosana:bentonita).

### 3. Resultados e Discussão

Na Figura 1 estão apresentados os difratogramas de raios X da quitosana pura (CS), polipropileno puro (PP) e das diferentes composições da mistura PP/CS com e sem agente compatibilizante.

Ao analisar o difratograma da quitosana pura (CS) observa-se dois picos, o primeiro parecendo um ombro, bem alargado em  $2\theta \sim 20^\circ$  e o segundo, um discreto pico, de baixa intensidade em  $2\theta \sim 26^\circ$ , o que caracteriza a presença da fase cristalina da quitosana na forma ortorrômbica, apresentando os seguintes parâmetros de rede:  $a = 4,4\text{Å}$ ;  $b = 10\text{Å}$ ;  $c = 10,30\text{Å}$  e  $\beta = 90^\circ$  e  $a = 3,3\text{Å}$ ;  $b = 10\text{Å}$ ;  $c = 10,30\text{Å}$  e  $\beta = 90^\circ$ , associados aos planos cristalinos (200) e (202), respectivamente [13; 14; 15; 16; 17] como mostrado na Figura (1).

Nos difratogramas para as misturas PP/CS com e sem agente compatibilizante observam-se semelhanças em relação à posição dos picos, que compreende a região  $2\theta$  de 13 a  $23^\circ$  que é característica da estrutura cristalográfica do polipropileno (PP). Nesses difratogramas, todas as composições das misturas PP/CS apresentam cinco reflexões basais em  $2\theta = 14,1^\circ$ ;  $16,9^\circ$ ;  $18,4^\circ$ ;  $21,1^\circ$ ;  $21,8^\circ$ , correspondendo aos planos cristalinos (110), (040), (130), (111) e (131), respectivamente, característicos da fase cristalográfica  $\alpha$  do PP e célula unitária monoclinica e um plano basal em  $2\theta \sim 25^\circ$  associado a presença da quitosana na mistura PP/CS. Além dos picos característicos da fase  $\alpha$  do PP, observa-se ainda para as misturas não compatibilizadas um pico adicional em  $2\theta = 15,8^\circ$  para as composições 6040, 8020 e 9010, correspondendo ao plano cristalino (300). O aparecimento desse pico sugere a ocorrência de outra fase cristalina conhecida como  $\beta$ . O PP isotático pode se cristalizar

além da fase  $\alpha$ , nas fases  $\beta$  hexagonal e  $\gamma$  triclinica [18]. Ryu e colaboradores (1991) [18] atribuíram a formação de cristais de fase  $\beta$  no PP ao rápido resfriamento do material fundido, uma vez que ocorre o rápido aumento da viscosidade na faixa de temperatura de cristalização do polímero.

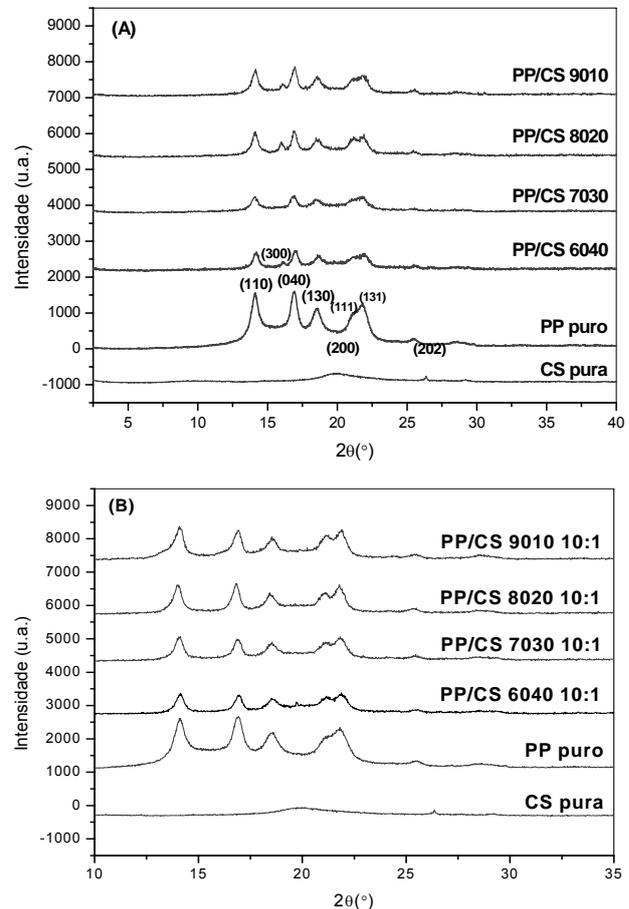


Figura 1. Difratogramas de raios X da quitosana pura (CS), polipropileno puro (PP) e diferentes composições da mistura PP/CS sem agente compatibilizante (A) e com agente compatibilizante (B)

A partir da composição 7030 (PP/CS), verifica-se ainda a ocorrência de um discreto aumento na intensidade das reflexões basais (110) e (040), que se torna mais pronunciado para as misturas compatibilizadas, indicando o crescimento dos cristais na direção perpendicular dos respectivos planos [19]. Isto sugere que a adição do agente compatibilizante CS/AN 10:1 na mistura PP/CS promoveu uma interação interfacial entre as fases presentes acarretando em um aumento da cristalinidade da mesma.

Analisando a Tabela 2, observa-se que para as misturas não compatibilizadas, as temperaturas de cristalização foram de 115°C (6040); 113°C (7030); 114 °C (8020) e 113°C (9010), ficando em torno de 114°C para todas as composições das misturas. Pode-se observar ainda que os valores encontrados para as  $T_m$  das misturas PP/CS sem agente

compatibilizante foram de 159 °C (6040); 161°C (7030); 161°C (8020); e 160°C (9010), ficando em torno de 160°C para todas as composições das misturas. Diante disso, observa-se que não houve mudanças significativas nas temperaturas de cristalização e de fusão com a incorporação de diferentes teores de quitosana (CS) nas misturas à base de PP, cujos valores de Tc e de Tm do PP puro foram de 114°C e 160°C, respectivamente. A não alteração nos valores de Tc implica dizer que a incorporação de diferentes teores de quitosana nas referidas misturas não afetou a velocidade de cristalização do PP, não atuando, portanto, como agente de nucleação na cristalização das misturas PP/CS, independente do teor de quitosana empregado.

Tabela 2. Dados da temperatura de cristalização e temperatura de fusão cristalina do PP puro e das diferentes composições da mistura PP/CS sem e com agente compatibilizante CS/AN 10:1

Amostras	Tc (°C)	Tm (°C)	Amostras	Tc (°C)	Tm (°C)
PP puro	114	160	PP puro	114	160
PP/CS 6040	115	159	PP/CS 6040 10:1	125	166
PP/CS 7030	113	161	PP/CS 7030 10:1	124	167
PP/CS 8020	114	161	PP/CS 8020 10:1	124	167
PP/CS 9010	113	160	PP/CS 9010 10:1	122	166

Com base ainda na Tabela 2 pode-se observar que as Tc's para as misturas PP/CS com agente compatibilizante foram de 125°C (6040); 124°C (7030); 124°C (8020) e 122°C (9010). Diante disso é possível notar que as misturas PP/CS compatibilizadas sofreram variação significativa na Tc (variando de 8 a 11°C) quando comparadas ao PP puro (114°C), indicando que o uso do agente compatibilizante CS/AN 10:1 na mistura PP/CS altera a velocidade de cristalização do PP. Isso acontece devido possivelmente o agente compatibilizante ter atuado como agente de nucleação heterogênea. Observa-se ainda que os valores encontrados para as Tm das diferentes composições da mistura PP/CS com agente compatibilizante foram em torno de 166°C. Nota-se que a presença do agente compatibilizante CS/AN 10:1 na mistura PP/CS ocasionou alteração em torno de 7°C nas Tm das diferentes composições da referida mistura em relação ao PP puro (160°C).

Na Figura 2 estão apresentadas as curvas termogravimétricas para a CS pura, PP puro e para as diferentes composições da mistura PP/CS sem e com agente compatibilizante. Com base na Figura 2, observa-se que os perfis das curvas termogravimétricas (TG) para as diferentes composições da mistura PP/CS sem e com agente compatibilizante são semelhantes, apresentando dois estágios de decomposição. O primeiro estágio acontece no intervalo de 256 a 323°C, estando relacionado à decomposição da quitosana. Neste estágio, a decomposição da quitosana conduz a desidratação, cisão da cadeia e reações de decomposição

[20]. Em torno de 356 e 490°C ocorre um segundo estágio de perda de massa; esse é atribuído à decomposição do PP como mostrado nas Figuras 2b e 2d.

A Tabela 3 apresenta os valores das temperaturas de decomposição a 20% de perda de massa para a CS pura, PP puro e para as misturas PP/CS sem e com agente compatibilizante CS/AN 10:1 (T<sub>D20%</sub>). Através destes dados, observa-se que à medida que o teor de quitosana na mistura PP/CS é diminuído em relação ao teor de PP verifica-se um significativo aumento na estabilidade térmica da referida mistura. Isto era de se esperar, uma vez que o PP se trata de um polímero sintético com temperatura de decomposição de 394°C, maior do que a da quitosana (273°C). De uma forma geral, pode-se considerar que a mistura de ambos os materiais polipropileno/quitosana favoreceram no aumento da estabilidade térmica para as diferentes composições da mistura PP/CS. Com base na Tabela (2) pode-se observar ainda que o agente compatibilizante CS/AN 10:1 conduziu a temperatura de decomposição a 20% de perda de massa das misturas PP/CS para valores menores (~ 368°C) quando comparada as das misturas sem o agente compatibilizante. Tal comportamento pode estar relacionado à composição do agente compatibilizante ser constituído de quitosana/silicatos em camadas, uma vez que a quitosana estar presente em maior quantidade em relação ao teor de silicatos e apresenta temperatura de decomposição bem inferior ao do PP puro.

Tabela 3. Valores de temperatura de decomposição a 20% de perda de massa (T<sub>D20%</sub>) da CS pura, PP puro e das misturas PP/CS sem e com agente compatibilizante CS/AN 10:1

Amostras	T <sub>D20%</sub> (°C)	Amostras	T <sub>D20%</sub> (°C)
CS pura	273,5	CS pura	273,5
PP puro	394,1	PP puro	394,1
PP/CS 6040	371,0	PP/CS 6040 10:1	343,7
PP/CS 7030	415,7	PP/CS 7030 10:1	338,6
PP/CS 8020	433,1	PP/CS 8020 10:1	384,6
PP/CS 9010	438,1	PP/CS 9010 10:1	405,1

Tabela 4. Propriedades mecânicas de tração do PP puro e das misturas PP/CS sem e com agente compatibilizante CS/AN 10:1

Amostras	Tensão Máxima (MPa)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação à Ruptura (%)
PP puro	30,4 ± 0,65	26,5 ± 1,23	2,6 ± 0,65
PP/CS 6040	8,6 ± 0,36	8,5 ± 0,16	4,3 ± 0,31
PP/CS 7030	10,5 ± 0,43	9,7 ± 0,56	3,5 ± 0,04
PP/CS 8020	12,4 ± 0,03	10,3 ± 0,60	4,7 ± 0,03
PP/CS 9010	14,2 ± 0,03	13,9 ± 0,09	5,7 ± 0,20
PP/CS 6040 10:1	11,3 ± 0,05	11,5 ± 0,36	2,8 ± 0,11
PP/CS 7030 10:1	13,4 ± 0,09	13,4 ± 0,09	3,3 ± 0,03
PP/CS 8020 10:1	15,3 ± 0,27	15,3 ± 0,27	3,3 ± 0,02
PP/CS 9010 10:1	7,1 ± 0,35	6,9 ± 0,46	3,8 ± 0,05

A Tabela 4 mostra os resultados das propriedades tênsis do PP puro e das diferentes composições da mistura PP/CS sem e com agente compatibilizante. De uma maneira geral, pode-se observar que as diferentes composições da mistura PP/CS não compatibilizada, apresentaram valores de tensão máxima e de ruptura menores do que os do PP puro. Isto pode estar relacionado à imiscibilidade da mistura, devido apresentar uma separação de fases bem definida, com fraca adesão entre elas, demonstrando a incompatibilidade do sistema PP/CS. Porém, ao se analisar apenas as composições da mistura PP/CS, observa-se que à medida que o teor de CS é diminuído na referida mistura tem-se um discreto aumento gradativo nestas propriedades. Embora percebendo uma

discreta melhoria, verifica-se de forma geral, que as fracas propriedades mecânicas das misturas sem agente compatibilizante com relação às do PP puro deve-se possivelmente a falta de interação entre as fases presentes, acarretando na presença de microvazios nas interfaces, o que leva à formação de trincas, e facilita a propagação destas, resultando em baixa resistência [21]. Pode-se observar ainda que as diferentes composições da mistura PP/CS sem agente compatibilizante apresentam uma deformação na ruptura, em geral, maior do que a do PP puro. Considerável aumento também é observado para a composição 9010 PP/CS contendo apenas 10% de quitosana.

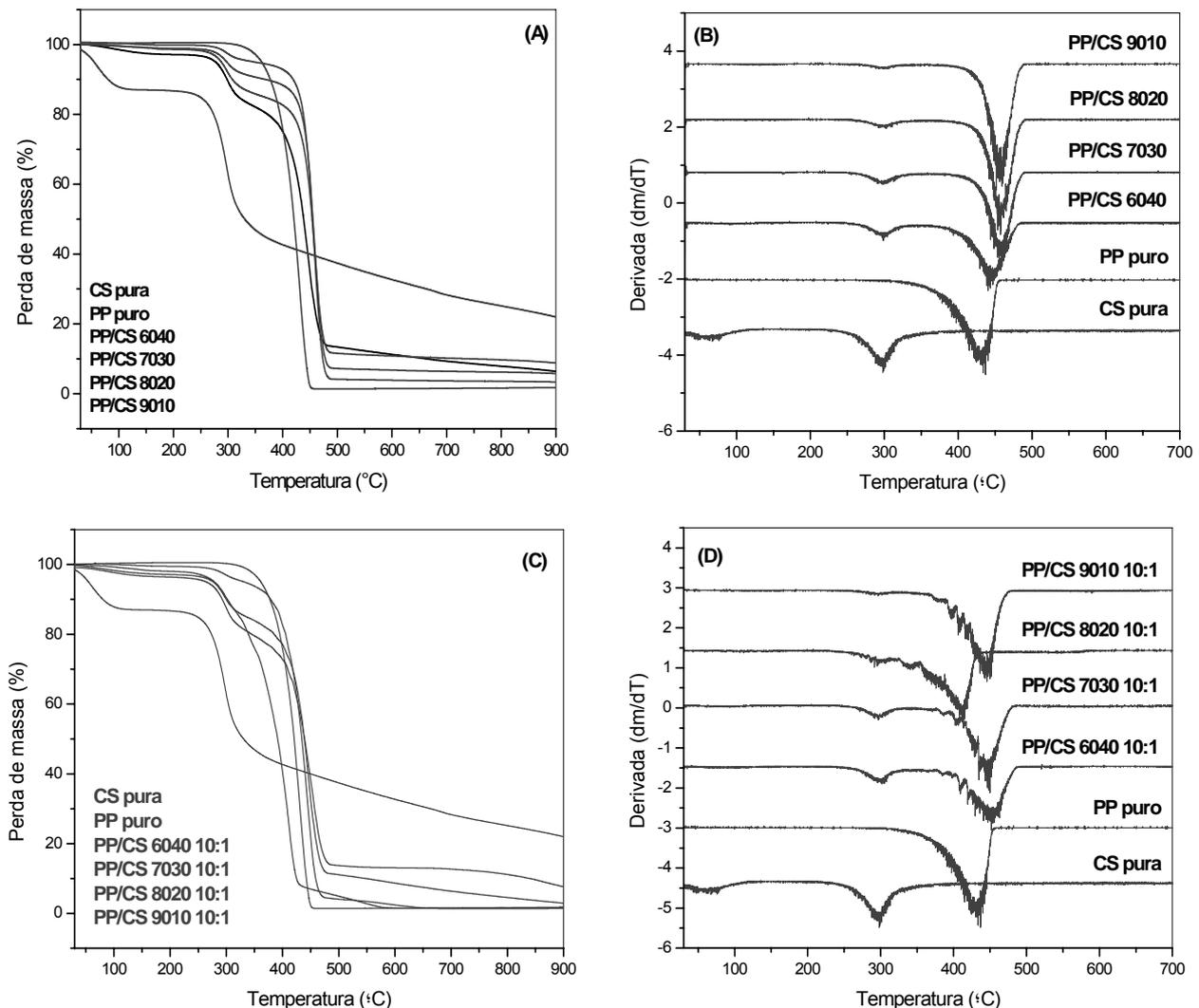


Figura 2. Curvas de TG: (A) e (C) e DTG: (B) e (D) da CS pura, PP puro e das diferentes composições da blenda PP/CS sem e com agente compatibilizante CS/AN 10:1

Com base também na Tabela 4 observa-se que as diferentes composições da mistura PP/CS com agente compatibilizante embora apresentem valores de tensão máxima e de ruptura menores que a do PP puro, observa-se,

entretanto, uma melhoria nas referidas propriedades quando comparadas com as das misturas não compatibilizadas, sendo esta mais significativa na medida em que o teor de CS na mistura PP/CS diminui em relação ao teor de PP. Este discreto

aumento é promovido pelo uso do agente compatibilizante CS/AN 10:1 na mistura PP/CS, que favorece na interação interfacial de ambas as fases poliméricas, mesmo sendo discreto este aumento. O aumento nestas propriedades é tomado como um indicativo que a adição do agente compatibilizante promoveu a interação entre as fases presentes, fortalecendo a interface do sistema, o que é fundamental para a transferência de tensões entre as fases [22,23]. Observa-se ainda que o uso do agente compatibilizante CS/AN 10:1 proporciona uma redução na deformação à ruptura das misturas PP/CS quando comparadas as misturas sem agente compatibilizante devido possivelmente a um aumento na rigidez das mesmas. Estes resultados evidenciam que o composto desenvolvido em nosso laboratório (CS/AN 10:1) promoveu a compatibilização das misturas PP/CS estudadas, favorecendo numa interação interfacial favorável entre as fases presentes.

#### 4. Conclusões

Neste trabalho pode-se concluir que misturas poliméricas PP/CS nas diferentes proporções foram obtidas por fusão e que o composto CS/AN 10:1 desenvolvido em nosso laboratório e usado nas misturas PP/CS, atuou como agente compatibilizante, fortalecendo a interface do sistema. Tal comportamento foi observado pela discreta melhoria nas propriedades tênsis das diferentes misturas PP/CS.

#### Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro

#### Referências

- [1] Higgins, J.S., Tambascob, M., Lipson, J. E. G. Polymer blends stretching what we can learn through the combination of experiment and theory. *Progress in Polymer Science*, 30, 832–843, 2005.
- [2] Moraes, I. C., Silva, G. G. D., Carvalho, R. A., Habitante, A. M. Q. B., Bergo, P. V. A., Sobral, P. J. A. Influence of the degree of hydrolysis of poly(vinyl alcohol) on the physical properties of films based on blends of gelatin and poly(vinyl alcohol) plasticized with glycerol. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28 (3), 738-745, 2008.
- [3] Zivanovic, J., Li, S., Davidson, P. M., Kit, K. Characterization and comparison of chitosan/PVP and chitosan/PEO blend films. *Carbohydrate Polymers*, 79, 786–791, 2010.
- [4] Sadi, R. K. Estudo da compatibilização e degradação de blendas de polipropileno/poli(3-hidroxi-butarato) (PP/PHB) (Tese de doutorado). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 2010.
- [5] Rinaudo M., Domard, A. Solution properties of chitosan. In: Skjak-Braek G., Anthonsen T., Sandford P., editors. *Chitin and chitosan. Sources, chemistry, biochemistry, physical properties and applications*. London and New York: Elsevier; 1989.
- [6] Azevedo, V. V. C., Costa, A. C. F. M., Chaves, S. A., Bezerra, D. C., Fook, M. V. L. Quitina e quitosana: aplicações como biomateriais. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 2 (3), 27-34, 2007.
- [7] Khoo, C. G. L., Frantzich, S., Rosinski, A., Sjostrom, M., Hoogstraate, J. Oral gingival delivery systems from chitosan blends with hydrophilic polymers. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 55, 47–56, 2003.
- [8] Minfeng, Z., Xudong, S., Yun, W., Xiandong, Y., Huiquan, X., Baoyi, W., Chenze, Q. Correlations between the free-volume properties and the miscibility of chitosan/polar polymers blend membranes. *Radiation Physics and Chemistry*, 77, 1062–1068, 2008.
- [9] Johns, J., Nakason, C. Dielectric properties of natural rubber/chitosan blends: effects of blend ratio and compatibilization. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357, 1816–1821, 2011.
- [10] Manrich, S. *Processamento de termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes*. São Paulo: Artliber; 2005.
- [11] Calil, M. R., Gaboardi, F., Bardi, M. A. G., Rezende, M. L., Rosa, D. S. Enzymatic degradation of poly( $\epsilon$ -caprolactone) and cellulose acetate blends by lipase and  $\alpha$ -amylase. *Polymer Testing*, 26, 257–261, 2007.
- [12] Shieh, Y., Twu, Y., Shih, C. Preparation and characterization of cellulose/chitosan blend films. *Carbohydrate Polymers*, 78, 169–174, 2009.
- [13] Ogawa, K. Effect of heating an aqueous suspension of chitosan on the crystallinity and polymorphs. *Agricultural and Biological Chemistry*, 55 (9), 2375-2379, 1991.
- [14] Ogawa, K., Yui, T., Miya, M. Dependence on the preparation procedure of the polymorphism and crystallinity of chitosan membranes. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 56 (6), 858-862, 1992.
- [15] Okuyama, K., Noguchi, K., Hanafusa, Y., Osawa, K., Ogawa, K. Structural study of anhydrous tendon chitosan obtained via chitosan/acetic acid complex. *International Journal of Biological Macromolecules*, 26 (4), 285-293, 1999.
- [16] Ogawa, K., Yui, T., Okuyama, K. Three D structures of chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 34, 1-8, 2004.
- [17] Beppu, M. M., Vieira, R. S., Aimoli, C. G., Santana, C. C. Crosslinking of chitosan membranes using glutaraldehyde: effect on ion permeability and water absorption. *Journal of Membrane Science*, 301 (1-2), 126-130, 2007.
- [18] Ryu, S. H., Gogos, C. G., Xanthos, M. Melting behaviour of controlled rheology polypropylene. *Polymer*, 32 (13), 2449-2455, 1991.
- [19] Gupta, A. K., Ratman, B. K. Crystallization, tensile and impact behaviour of polypropylene/polybutadiene. *Journal of Applied Polymer Science*, 42, 297-315, 1991.

- [20] MA, G., Yang, D., Kennedy, J. F., Nie, J. Synthesize and characterization of organic- soluble acyted chitosan. *Carbohydrate Polymers*, 75, 390-394, 2009.
- [21] Folkes, M. J., Hope, P. S. *Polymer Blends and Alloys*. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1995.
- [22] Melo, T. J. A., Brito, K. G. Q., Carvalho, L. H. Propriedades mecânicas e morfologia de uma blenda polimérica de PP/HIPS compatibilizada com SEBS. *Polímeros Ciência e Tecnologia*, 10 (2), 82-89, 2000.
- [23] Nascimento, W. A., Lima, J. C. C., Agrawal, P., Lira, H. L., Mélo, T. J. A. Blendas de PP/PA6: efeito da concentração de PA6 e compatibilizantes reativos nas propriedades mecânicas, térmicas e morfológicas. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 8 (3), 155–162, 2013.