

# MOLDE

ANO 24  
01.2013  
Nº97  
€4,50



ESPECIAL

## LEAN MANUFACTURING



PROCESSAMENTO DE  
EMBALAGENS RÍGIDAS DE  
PAREDES FINAS EM POLI



PROCESSOS AVANÇADOS  
DE REVESTIMENTOS E  
ACABAMENTO DE MOLDES  
PARA INDÚSTRIA  
VIDREIRA



ENGINEERING & TOOLING DE  
PORTUGAL PARA O MUNDO



# PROCESSAMENTO DE EMBALAGENS RÍGIDAS DE PAREDES FINAS EM POLI (ÁCIDO LÁCTICO)

## PROCESSING OF POLY(LACTIC ACID) THIN WALLED RIGID PACKAGING

ISABEL O. SANTOS, LUÍS C. MARTINS, SANDRA C. FERREIRA, CARLA I. MARTINS, ANTÓNIO J. PONTES

IPC / Instituto de Polímeros e Compósitos, Instituto de Nanoestruturas, Nanomodelação e Nanofabricação, Departamento de Engenharia de Polímeros, Universidade do Minho

IPC / Institute for Polymers and Composites, I3N/ Institute of Nanostructures, Nanomodelling e Nanofabrication, Polymer Engineering Department University of Minho.

### RESUMO

O presente trabalho visa estudar a processabilidade de materiais biodegradáveis para embalagens rígidas de paredes finas e demonstrar a sua viabilidade económica e técnica. Este enquadra-se num estudo mais alargado que está a ser conduzido no âmbito do projeto ToolingEdge e que pretende estudar a degradabilidade de biopolímeros com potencial aplicação em embalagens rígidas, encontrar soluções adequadas ao seu processamento, conceber moldes capazes para as referidas embalagens e prever o seu desempenho. Dentro do referido projeto, este refere-se ao caso de estudo sobre "Moldes de paredes finas e embalagens com materiais biodegradáveis". Os parceiros envolvidos são o DEP/IPC - Universidade do Minho, a AHA, a 3DTech e a LN Moldes. Estes têm competências específicas no desenvolvimento do produto, no projeto e fabrico de moldes complexos, no processamento e na caracterização de materiais e produtos.

### 1. INTRODUÇÃO

O intenso uso de embalagens plásticas pela sociedade moderna e o seu rápido descarte contribuiu para uma enorme acumulação desses materiais no planeta. A crescente preocupação ambiental da sociedade leva a que estes sejam reutilizados ou, em alternativa, novos polímeros baseados em fontes renováveis sejam utilizados em substituição dos polímeros obtidos a partir do petróleo. Exemplos destes materiais são o Poli (ácido láctico) (PLA), o Poli (hidroxialcanoato) (PHA), o Poli (hidroxibutirato) (PHB), acetato de celulose, amido, entre outros.

Por outro lado, a moldação por injeção convencional é um processo versátil na produção de materiais poliméricos em massa, sendo que têm evoluído no sentido de aumentar a sua flexibilidade, nomeadamente, na produção de embalagens de paredes finas. Este processo pode ser bastante vantajoso devido à redução de material pela diminuição da espessura das embalagens e elevadas taxas de produção devido aos curtos tempos de ciclo, promovendo desta forma, a produção de embalagens com design flexível e biodegradável.

### 2. EMBALAGENS ALIMENTARES

O mercado das embalagens apresenta um volume de utilização notável,

### ABSTRACT

The present work aims at studying the processing of biodegradable materials for thin-walled rigid packaging's and to demonstrate its economic and technical viability. The work is being carried within the framework of ToolingEdge project. The main goals are: to study the degradation behavior of biopolymers with potential applications in rigid packaging; to find appropriate solutions for their processing; to conceive molds capable of molding thin walled packaging and to predict their performance. A case study on molds for thin walled packaging with biodegradable polymers is being handled by the following partners: DEP/IPC - University of Minho, the AHA, the 3DTech and the LN Moldes. Their specific skills are on product development, design and manufacture of complex molds, processing and characterization of materials and products.

### 1. INTRODUCTION

The intense use of plastics by the society and its rapid discard has contributed for its accumulation in large scale as pollutant materials. The growing environmental concern by the society leads to the reuse of those materials or the use of new polymeric materials based on renewable sources, therefore, replacing polymers derived from petroleum. Some examples are the polylactic acid (PLA), Polyhydroxyalkanoates (PHA), Polyhydroxybutyrate (PHB), Cellulose acetate, starch, etc.

The conventional injection molding is a versatile process for mass production of polymeric materials. Its evolution for the production of thin walled packaging's leads to the following advantages: (i) the reduction of material used by decreasing the thickness of the part; (ii) high production rates due to short cycle times; (iii) promotes design flexibility and (iv) suitable for biodegradable packagings

### 2. FOOD PACKAGINGS

The packaging market represents more than 200 million tons of plastics used around the world [1]. The packaging industry is the major consumer of plastic products, using about 40% of the total plastics produced worldwide. In Portugal, 13.5% of urban solid



mais de 200 milhões de toneladas, em todo o mundo [1]. A indústria das embalagens é a principal consumidora de produtos em plástico, utilizando cerca de 40% do total de plásticos produzidos mundialmente. Em Portugal, 13,5% dos RSU (resíduos sólidos urbanos) correspondem às embalagens alimentares em plástico que, quando provenientes de produtos petroquímicos e não havendo valorização destes, demorarão cerca de 50 a 450 anos, dependendo do tipo de plástico, até degradarem [2].

Uma das limitações das embalagens alimentares é serem descartáveis [3]. Uma solução seria a reciclagem, contudo, a sua aplicação na indústria alimentar é limitada devido à regulamentação existente. Nos últimos anos a reciclagem de embalagens tem aumentado, mas o elevado custo para reciclar torna o produto final mais caro. Além disso, as embalagens são muitas vezes contaminadas pelos alimentos, o que torna a sua reciclagem inexequível [1].

Os materiais biodegradáveis provenientes de fontes renováveis podem constituir uma solução, mas ainda existem dúvidas quanto ao seu uso, devido ao elevado custo de produção, em comparação com os plásticos convencionais e também devido à dificuldade em processar materiais biodegradáveis [4]. O PLA foi patenteado na década de 50, mas só hoje em dia surge um grande interesse na sua aplicabilidade em embalagens, pois este material é versátil, reciclável e compostável. Apresenta elevada transparência e elevado peso molecular, a um custo competitivo [5].

### 3. MOLDAÇÃO POR INJEÇÃO DE PAREDES FINAS

As técnicas não convencionais, nomeadamente a moldação por injeção de paredes finas, surgiram com o intuito de aumentar a flexibilidade, produtividade e rentabilidade do processo. Criar novas áreas de aplicação, design mais livre, benefícios económicos, aumentado as propriedades do material e a qualidade das peças [6].

A moldação convencional é caracterizada por produzir peças com uma espessura nominal tipicamente entre 1 a 4 mm, enquanto, a moldação por injeção de paredes finas é caracterizada por produzir peças com uma espessura inferior a um milímetro ou ter uma razão comprimento/espessura superior de 100:1, ou ainda, possuir uma área de superfície de pelo menos 50 cm<sup>2</sup> [6, 7]. Esta nova tecnologia apresenta várias vantagens, incluindo economia de material, redução de tempos de ciclos, redução do peso da peça, redução de custos e facilidade de transporte [7]. Possui também algumas desvantagens como, restrições no caminho do fluxo, condições de processamento excessivas e uma janela de processamento muito limitada, para garantir uma correta extração e enchimento da moldação, assim como, equipamentos robustos e capazes de responder aos requisitos deste tipo de moldação [4, 6].

#### 3.1. Processamento do Polí (ácido láctico)

O PLA apresenta algumas dificuldades no processamento, comparativamente à maioria dos polímeros petroquímicos. Este possui características, tais como, higroscopicidade e susceptibilidade à hidrólise, baixa temperatura de transição vítrea (~57°C), temperaturas de processamento abaixo dos 200°C e tendência para um comportamento frágil.

O PLA deve ser seco antes de ser processado, cerca de 4 horas a 90°C, devido ao seu caráter higroscópico. Deve também ser mantido acondicionado e selado até ser usado pois este absorve imediatamente hu-

*wastes correspond to the plastic food packaging. Most of them are coming from petrochemical derived products that can take from 50 to 450 years to degrade, depending on the type of plastic used [2].*

*One of the limitations of food packages is to be readily discarded [3]. One solution is to recycle them; however, its application in the food industry is limited due to strict regulations. Also, they are often contaminated by food, which makes their recycling unfeasible [1]. Nevertheless, in recent years packaging recycling has increased, but the high cost for recycling makes the final product more expensive.*

*Biodegradable materials from renewable resources may be the solution, but there are still doubts on its use, due to high production costs, compared to conventional plastics and also due to the difficulty in processing of biodegradable materials [4]. PLA was patented in the 50 s, but only now there is a great interest on its application for packaging because it is a versatile, recyclable, and compostable material. It has high transparency and high molecular weight, at a competitive cost [5].*

### 3. THIN-WALLED INJECTION MOLDING

*Non-conventional injection molding techniques, including thin-walled injection molding, emerged with the purpose of increasing flexibility, productivity and profitability of the process, to create new application areas, more design freedom, economic benefits, increased material properties and quality of parts [6].*

*The conventional molding is characterized by producing parts with a nominal thickness between 1 to 4 mm, whereas thin walled injection molding is characterized by having a thickness less than 1 mm or a length/thickness ratio larger than 100:1, or even, a surface area of at least 50 cm<sup>2</sup> [6, 7]. This technology has several advantages, including materials saving, cycle times reduction, lighter part weight, cost reduction and transport benefits [7]. It also shows some disadvantages such as, restrictions in the flow path, specific processing conditions (high rates and pressures), limited processing windows, as well, the need for robust equipment's, capable of responding to such molding requirements [4, 6].*

#### 3.1. Processing of Poly (lactic acid)

*PLA presents some difficulties in processing, compared to most petrochemical polymers. The reasons are mainly its characteristics of hygroscopicity and susceptibility to hydrolysis, low glass transition temperature (~57°C), processing temperatures below 200°C and tendency to brittle behavior.*

*PLA needs to be dried before being processed, about 4 hours at 90°C because of its hygroscopic character. It should also be maintained packed and sealed until it is used, since it quickly absorbs moisture from the atmosphere. This procedure prevents defects in moldings, material degradation (yellowing moldings and odors), ejection problems and corrosion by acid etching tools, including screw and mold. It is recommended the use of corrosion resistant tools and also regular cleaning of the tools [8].*



midade da atmosfera. Este procedimento evita defeitos nas moldações, degradação do material (moldações amareladas e liberação de odores), problemas de extração e corrosão das ferramentas por ataque ácido, nomeadamente do parafuso e do molde. Recomenda-se o uso de ferramentas resistentes à corrosão e limpeza regular das ferramentas [8].

Em termos de condições de processamento, o PLA requer velocidades e pressões de injeção mais baixas, relativamente aos materiais convencionais, o que conduz a maiores tempos de residência do material [9]. Para atenuar possíveis problemas de degradação deve-se injetar apenas o volume necessário para o correto enchimento das impressões, ou seja, deve-se ter em conta o tamanho do cilindro ou a utilização de acumuladores [9].

Por sua vez, a moldação por injeção de paredes finas exige temperaturas do fundido e do molde elevadas, bem como, materiais com um elevado índice de fluidez (MFI). A velocidade também deve ser elevada para facilitar o escoamento do fundido. Assim, o processamento de moldações de paredes finas por injeção, utilizando materiais biodegradáveis, pode tornar-se um desafio!

#### 4. CASO DE ESTUDO

O fabrico de um molde para a produção de embalagens rígidas de paredes finas em materiais biodegradáveis exige um largo conjunto de dados de natureza técnica e tecnológica. Foram efetuados vários estudos com o intuito de suprimir as lacunas existentes neste processo, dos quais se salientam (i) estudo do comprimento de fluxo numa geometria em espiral, utilizando o PLA, (ii) estudo das condições de processamento do PLA utilizando uma geometria do tipo tubular e (iii) estudo das forças de extração utilizando vários insertos em materiais diferentes (liga de aço e liga cobre-berílio).

#### 5. RESULTADOS

O estudo do comprimento de fluxo foi realizado numa geometria em espiral, Figura 1. Usou-se o PLA com dois índices de fluidez distintos, para verificar qual o que proporciona maior comprimento de fluxo. Os materiais selecionados foram o PLA Ingeo™ 3001D (MFI de 22g/10min a 210°C e 2,16Kg) e o PLA Ingeo™ 3251D (MFI de 80g/10min a 210°C e 2,16Kg) [10]. Além dos materiais, a espessura das moldações também foi alterada (0.5 e 0.7mm). Os ensaios foram efetuados segundo um planeamento de experiências (DOE), usando o método Taguchi. As condições de processamento variadas foram a temperatura de injeção (Tinj), temperatura do molde (Tmol) e velocidade de injeção (Vinj). Na Tabela I e Tabela II são apresentados os planos de experiências para a espiral de 0.7mm e para a espiral de 0.5mm, respetivamente.

**TABELA 1** – Planeamento de experiências para a espiral com 0,7 mm de espessura.

Nível	Tinj (°C)	Tmol (°C)	Vinj (mm/s)
1	220	35	150
2	205	25	170
3	190	15	130

*In terms of processing conditions, PLA requires lower speed and pressure compared to conventional materials, leading to higher material residence time [9]. To minimize possible degradation problems only the volume required to fill the molds should be used, i.e., one must take into account the size of the cylinder or then use accumulators [9].*

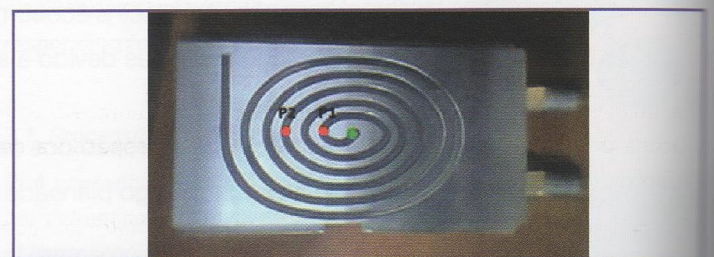
*In turn, the injection molding of thin-walled parts requires higher melt and mold temperatures, as well, materials having a high melt flow index (MFI). The speed must also be increased to facilitate the flow of melt in the cavity. Thus, the injection mold processing of thin-walled parts using biodegradable materials can be a challenge!*

#### 4. CASE STUDY

*The manufacturing of molds for the production of thin-walled rigid biodegradable packaging requires a wide range of technical and technological information. For that, some studies were carried out, namely: (i) study the flow length in a spiral geometry, using PLA, (ii) optimize the processing conditions of PLA using a tubular geometry and (iii) study of ejection forces using mold inserts of different materials (steel alloy and beryllium-copper alloy).*

#### 5. RESULTS

*The study of flow length was performed on spiral geometry, Figure 1, using PLA with two distinct melt flow indices. The selected materials were PLA Ingeo™ 3001D (MFI of 22g/10min at 210°C and 2,16Kg) and the PLA Ingeo™ 3251D (MFI of 80g/10min at 210°C and 2,16Kg), from NatureWorks® LLC [10]. Besides the material, the thickness of the moldings was also varied (0.5-0.7mm). The experiments were performed according to a planning of experiments (DOE), using the Taguchi method. The processing conditions which have been varied are the injection temperature (Tinj), mold temperature (Tmol) and injection speed (Vinj). Table I and Table II shows the experimental plans for the spiral experiences, 0.7mm and 0.5mm, respectively.*



**F1** – . Inseto com geometria em espiral.  
*Insert with spiral geometry*

**TABLE 1** – Experimental plan for 0.7mm thick spiral.

Level	Tinj (°C)	Tmol (°C)	Vinj (mm/s)
1	220	35	150
2	205	25	170
3	190	15	130



**TABELA 2** – Planeamento de experiências para a espiral com 0,7 mm de espessura.

Nível	Tinj (°C)	Tmol (°C)	Vinj (mm/s)
A	190	15	130
B	190	25	150
C	190	30	170
D	205	15	150
E	205	25	170
F	205	30	130
G	220	15	170
H	220	25	130
I	220	25	130

Após a moldação por injeção das espirais com 0,7mm de espessura verificou-se um aumento do comprimento de fluxo, Figura 2, com o aumento dos valores utilizados nas variáveis de processamento (Tinj, Tmol e Vinj). Relativamente aos materiais usados, constatou-se que o PLA Ingeo™ 3251D possui um maior comprimento de fluxo, face ao PLA Ingeo™ 3001D. Este resultado seria de esperar, uma vez que o 3251D tem um índice de fluidez mais elevado, facilitando o seu escoamento através da cavidade moldante.

Os resultados obtidos para a espiral de espessura 0,7 mm não permitem avaliar quais as variáveis de processamento com maior influência no comprimento do fluxo. Portanto, efetuou-se um planeamento de experiências, segundo a matriz ortogonal Taguchi L9, representado na Tabela II, para a espiral com 0,5 mm de espessura.

Através da Figura 3 verifica-se que a condição de processamento que tem maior influência no comprimento de fluxo é a temperatura de injeção, de seguida, a velocidade de injeção e por último a temperatura do molde. A espessura da peça e a viscosidade do material também influenciam o comprimento do fluxo. Assim, o comprimento de fluxo aumenta cerca de 25% com um aumento de 0.2 mm de espessura e de 20% com a utilização do PLA Ingeo™ 3001D.

Estes estudos permitiram concluir que o material mais adequado para a embalagem seria o PLA Ingeo 3251D, sendo o comprimento de fluxo máximo previsto experimentalmente de 200mm, em condições de processamento otimizadas, para uma espessura de 0,5mm.

Em paralelo foram efetuados estudos de fluxo em MoldFlow que comprovaram ser possível o enchimento adequado com espessuras de 0,5mm.

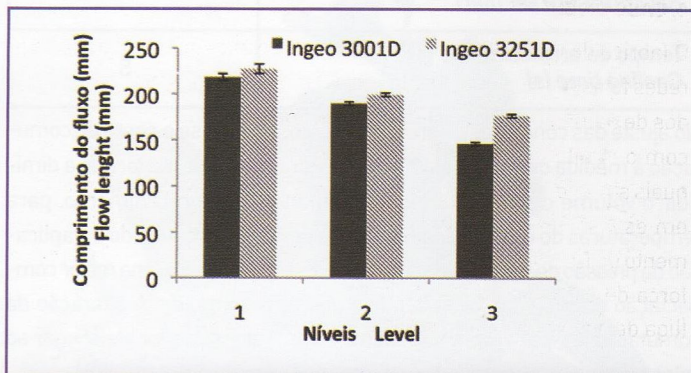
Após a seleção do material (PLA Ingeo 3251D) e a espessura (0,5 mm) a aplicar na embalagem foi efetuado o processamento do PLA, usando uma geometria tubular, do tipo “copo” (Figura 4). O PLA foi injetado em dois inserts, um produzido em liga de aço e outro em liga de cobre-berílio. Também se variou a temperatura do molde entre 25°C, 40°C e 55°C.

Na Tabela III são apresentadas as condições de processamento usadas. A máquina de injeção usada foi a Ferromatik Milacron K85.

**TABLE 2** – Experimental plan for 0.5mm thick spiral

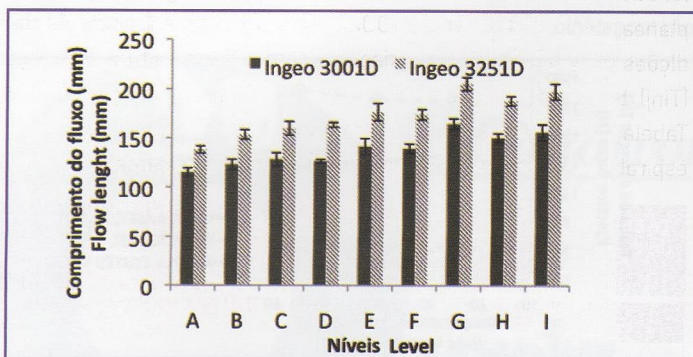
Level	Tinj (°C)	Tmol (°C)	Vinj (mm/s)
A	190	15	130
B	190	25	150
C	190	30	170
D	205	15	150
E	205	25	170
F	205	30	130
G	220	15	170
H	220	25	130
I	220	25	130

The injection molding of 0.7mm thick spiral shows an increase of flow length, Figure 2, with the increase of the values used for each processing variable (Tinj, Tmol and Vinj). As regards the material used, PLA Ingeo™ 3251D provides a longer flow length, compared to PLA Ingeo™ 3001D due to its higher melt flow index, that facilitates it flow through the cavity.



**F2** – Variação do comprimento de fluxo para a espiral de espessura 0,7 mm, com a alteração das variáveis de processamento. Flow length for different PLAs in 0.7 mm thick spiral.

The results obtained with 0.7mm thick spiral did not allow the evaluation of the processing variables with greatest effect on the flow length. Therefore, a DOE experimental plan, following Taguchi L9 orthogonal matrix, shown in Table II, was used for 0.5mm thick spiral.



**F3** – Variação do comprimento de fluxo para a espiral de espessura 0,5 mm, com a alteração das variáveis de processamento. Flow length for different PLAs in 0.5 mm thick spiral.



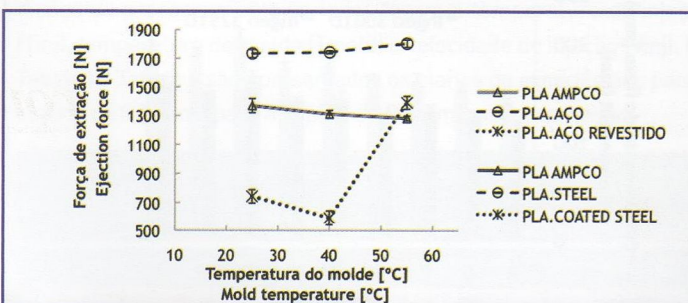
**TABELA 3** – Condições de processamento do PLA Ingeo™ 3251D [4].  
*Table III. Processing conditions of PLA Ingeo™ 3251D [4].*

Condições de processamento <i>Processing conditions</i>	
Perfil de temperaturas no cilindro (°C) <i>Injection temperatures profile (°C)</i>	220-210-190-160
Temperatura do molde (°C) <i>Mold temperature (°C)</i>	25-40-55
Dosagem (cm3) <i>Dosage (cm3)</i>	15,5
Pressão de injeção no bico (bar) <i>Injection pressure on the nozzle (bar)</i>	1700
Almofada (cm3) <i>Cushion (cm3)</i>	6
Tempo de injeção (s) <i>Injection time (s)</i>	2
Velocidade de injeção (cm3/s) <i>Injection speed (cm3/s)</i>	150
Contrapressão set (bar) <i>Backpressure set (bar)</i>	10
Tempo de arrefecimento (s) <i>Cooling time (s)</i>	5

No ajuste das condições de processamento, alterou-se o ponto de comutação à medida que se variou a temperatura do molde, de forma, a diminuir o volume de injeção. Não se efetuando este procedimento, para temperaturas do molde superiores o material está mais fluido e a aplicação da pressão de injeção e da segunda pressão provocam uma maior compactação do material, dificultando a abertura do molde. A alteração da comutação fez-se sempre iniciando com um valor superior até chegar ao valor mínimo que permitia o enchimento da moldação.

As condições de processamento apresentadas na Tabela III permitiram o correto enchimento e extração das moldações em ambos os inserts (liga de aço e liga cobre-berílio). Na Figura 4, do lado direito, apresentam-se como exemplo as peças obtidas em PLA utilizando um molde em aço.

Foram efetuados estudos sobre o efeito do tipo de inserto metálico (liga de aço e liga de cobre-berílio) e temperatura do molde (25-40-55°C) nas forças de extração do PLA, Figura 5. Também foram efetuados estudos no inserto de aço revestido com filmes finos de DLC hidrogenado e dopado com tungstênio.



**F5** – Forças de extração resultantes da injeção de PLA para diferentes temperaturas do molde, nos inserts de aço e AMPCO [4].  
*Ejection forces resulting from injection of PLA for different temperatures of the mold, in different mold inserts [4].*

According to Figure 3 the processing condition that mostly influenced the flow length is the injection temperature, followed by the injection velocity and, finally, the mold temperature. The part thickness and material viscosity also influence the flow length. Thus, the flow length increases about 25% with an increase of 0.2 mm in thickness and 20% with the use of PLA Ingeo™ 3001D.

Therefore, the most suitable material for a packaging of 0.5 mm thick would be Ingeo PLA 3251D, with an expected flow length of 200mm, at optimized processing conditions. Flow studies carried out using Mold-Flow proved to be possible to fill a 0.5 mm thick part.

After the materials selection and definition of thickness of the part, it followed the processing of PLA using a tubular geometry (Figure 4). Two types of molds were used to produce the PLA parts. One was made in steel alloy and the other in beryllium-copper alloy. The effect of the mold temperature was also studied. Table III shows the processing conditions used. The injection machine used was a Ferromatik Milacron K85, of 85 tons of clamp force.

The processing conditions were adjusted so that the switching point was changed as the mold temperature was increased. This procedure is recommended since for higher mold temperatures the material becomes more fluid and the application of injection pressure and the holding pressure causes higher compaction of the material, making the opening of the mold difficult. The change in switching point was always made by starting with a higher value until it was reached the minimum value allowed for filling of the mold.

The processing conditions shown in Table III enabled the correct filling and ejection of the moldings in both inserts (steel alloy and beryllium-copper alloy). In Figure 4, the right side is shown an example of PLA parts produced using a steel mold.



**F4** – Inserto da geometria tubular em aço e respectivas moldações.  
*Tubular geometry insert made of steel and respective moldings.*

The ejection forces of PLA were analyzed according to the type of mold material used (steel alloy and beryllium-copper alloy) and the mold temperature used (25-40-55°C). Also studies were done on steel insert coated with DLC thin films of hydrogenated and doped tungsten.

In the particular case AMPCO and steel molds, until mold temperatures of 40°C, the ejection forces decreased slightly with the increase of mold temperature. These results are in agreement with the literature [11]. For the same cooling time (5 seconds) the ejection force varies inversely with temperature of the mold since an increase of mold temperature leads to an increase in ejection temperature, a decrease in the elastic modulus of the material and shrinkage at the ejection time. It was found, however, an exception during the ejection of PLA using the steel insert, at mold temperature of 55°C. It is observed an abrupt increase of ejection forces required. This result can be explained by the proximity of tempe-



No caso particular do AMPCO e do aço até temperaturas do molde de 40°C, as forças de extração diminuem ligeiramente com o aumento da temperatura do molde. Estes resultados estão de acordo com a literatura [11]. Para o mesmo tempo de arrefecimento (5 segundos) a força de extração varia inversamente com a temperatura do molde, isto porque um aumento da temperatura do molde leva a um aumento da temperatura de extração, a uma diminuição do módulo elástico do material e contração no momento da extração. Verificou-se, no entanto, uma exceção com a extração no postigo de aço, à temperatura do molde de 55°C, que requer forças de extração mais elevadas. Esta exceção deve-se à proximidade deste valor com a temperatura de transição vítrea do material (57°C), levando à deformação da peça e dificultando a sua extração. O mesmo não ocorreu com o inserto em AMPCO devido à maior condutividade térmica deste.

Conclui-se que o inserto de aço revestido proporciona menores forças de extração, exceto em temperaturas próximas da temperatura de transição vítrea. A uma temperatura do molde de 40°C, o inserto de AMPCO atinge uma força de extração de 1300N, o inserto de aço 1750N e o inserto de aço revestido 600N.

Os estudos preliminares efetuados possibilitaram obter os dados necessários ao estabelecimento das seguintes especificações para a embalagem:

- Embalagem alimentar descartável para produtos secos;
- Embalagem quadrada com comprimento de fluxo máximo de 200mm;
- Material biodegradável (PLA Ingeo 3251 Biopolymer);
- Embalagem com paredes finas (0,5 mm de espessura);
- Moldação por injeção;
- Empilhável;
- Altura máxima de empilhamento (até 2 m);
- Tecnologia IMD na tampa.

Foram também definidas as especificações para os moldes (tampa e recipiente):

- O molde tem que suportar as condições de processamento requeridas por estas peças (elevadas temperaturas, elevadas taxas de corte e elevado desgaste);
- O molde deve possuir revestimentos que permitam baixos coeficientes de atrito;
- O aço utilizado no molde deve ter boas características de polimento e revestimento.

Na Figura 6 apresenta-se a geometria para a embalagem alimentar a produzir. Esta tem aproximadamente 1L de capacidade, sendo constituída por uma tampa e um recipiente.

Os moldes para o fabrico da embalagem foram projetados em aço 1.2343 para o molde do recipiente e em aço 1.2316 (aço inoxidável) para o molde da tampa.

## 6. CONCLUSÕES

No final do projeto espera-se superar o desafio que ostenta a produção de embalagens biodegradáveis de paredes finas, moldadas por injeção. As inúmeras vantagens destas embalagens, como a redução de mate-

riate used to the glass transition temperature of the material (57°C). Thus the ejection of the part becomes difficult due to possible deformation of the part. This was not observed when using the insert made of AMPCO due to its higher thermal conductivity, as compared to steel.

It was concluded that the coated steel insert provides lower ejection forces, except at temperatures near the PLA glass transition temperature. At a mold temperature of 40°C, the insert of AMPCO reaches an ejection force of 1300N, the steel insert of 1750N and the coated steel of 600N.

The preliminary study presented above showed some important results for the establishment of the following packaging requirements:

- Disposable packaging for dried food products;
- Square packaging with maximum flow length of 200mm;
- Biodegradable material (PLA Ingeo Biopolymer 3251);
- Thin-walled packaging (0.5 mm of thickness);
- Injection molding;
- Stackable;
- Maximum height of stacking (up to 2m);
- IMD technology on the cover.

Regarding the mold requirements (container and cover), they are:

- The mold must withstand the processing conditions required for these parts (high temperature, high shear rates and high wear);
- The mold must be coated to allow low friction coefficients;
- The steel used in the mold should have good polishing characteristics and coating ability.

Figure 6 shows the geometry of the food packaging. This is a container with 1 liter of capacity (approx.), consisting of a lid and a container.

The materials of the molds used were steel 1.2343 for mold container and steel 1.2316 (stainless steel) for the mold cover.



F6 – Embalagem alimentar biodegradável.  
Biodegradable food packaging.

## 6. CONCLUSION

At the end of the project it is expected to overcome the challenges that boast the production of a thin-walled biodegradable packaging by injection molded. The numerous advantages of these packages



rial pela diminuição da espessura nas embalagens e elevadas cadências de produção devido ao curto tempo de ciclo, motivam um grande interesse industrial. Além disso, a produção de uma embalagem de paredes finas biodegradável é uma solução viável para diminuir a produção de resíduos e assim contribuir para a redução do problema ambiental existente. ■

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] V. Siracusa, P. Rocculi, S. Romani, and M. Rosa, "Biodegradable polymers for food packaging: a review," *Trends in Food Science Technology*, vol. 19, no. 12, pp. 634-643, Dec. 2008.  
 [2] "Portal do ambiente e do cidadão." [Online]. Disponível em: <http://ambiente.maiadigital.pt/ambiente/residuos/mais-informacao-1/algumas-curiosidades>. [Acedido a: 14-Feb-2012].  
 [3] C. Cutter, "Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods," *Meat Science*, vol. 74, no. 1, pp. 131-142, Sep. 2006.  
 [4] S. Ferreira, "Otimização do processo de injeção de moldações de paredes finas em Poli (ácido láctico): Estudo das forças de extração e aplicabilidade à embalagem", Tese de Mestrado, Universidade do Minho, 2012.  
 [5] G. Bang and S. W. Kim, "Biodegradable poly(lactic acid)-based hybrid coating materials for food packaging films with gas barrier properties," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 18, no.3, pp. 1063-1068, May 2012.  
 [6] T. Osswald, L. Turng, P. Gramann, "Injection Molding Handbook", 2nd ed. Munich: Hanser, 2008. ISBN 978-3-446-40781-7.  
 [7] K. Park, B. Kim, and D. Yao, "Numerical Simulation for Injection Molding with a Rapidly Heated Mold, Part I: Flow Simulation for Thin Wall Parts," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 45, no. 8, pp. 897-902, Aug. 2006.  
 [8] T. Pruden, "Hot Runner Technology for Bio-Resins." *Moldmaking technology magazine*, Dec. 2007, Gardner Publications.  
 [9] L.T. Lim, R. Auras, and M. Rubino, "Processing technologies for poly(lactic acid)," *Progress in Polymer Science*, vol. 33, no. 8, pp. 820-852, Aug. 2008.  
 [10] "Injection Molding Guide for Ingeo TM Biopolymer Injection Molding Guide for Ingeo TM Biopolymer," pp. 1-5.  
 [11] Pontes, A. J.; Brito, A. M.; Pouzada, A. S., "Effect of melt viscosity on the ejection force in injection moulds", *Materials Science Forum*, vols. 455-456, pp. 755-758, 2004.

motivate great industrial interest, namely, material reduced by decreasing of the thickness of packaging and high production rate due to the short cycle time. Furthermore, the production of a thin-walled biodegradable packaging is a viable solution to decrease the production of waste and thus reduce the environmental impact of plastics existing nowadays. ■

**BIBLIOGRAPHIC REFERENCES**

[1] V. Siracusa, P. Rocculi, S. Romani, and M. Rosa, "Biodegradable polymers for food packaging: a review," *Trends in Food Science Technology*, vol. 19, no. 12, pp. 634-643, Dec. 2008.  
 [2] "Portal do ambiente e do cidadão." [Online]. Disponível em: <http://ambiente.maiadigital.pt/ambiente/residuos/mais-informacao-1/algumas-curiosidades>. [Acedido a: 14-Feb-2012].  
 [3] C. Cutter, "Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods," *Meat Science*, vol. 74, no. 1, pp. 131-142, Sep. 2006.  
 [4] S. Ferreira, "Otimização do processo de injeção de moldações de paredes finas em Poli (ácido láctico): Estudo das forças de extração e aplicabilidade à embalagem", Tese de Mestrado, Universidade do Minho, 2012.  
 [5] G. Bang and S. W. Kim, "Biodegradable poly(lactic acid)-based hybrid coating materials for food packaging films with gas barrier properties," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 18, no.3, pp. 1063-1068, May 2012.  
 [6] T. Osswald, L. Turng, P. Gramann, "Injection Molding Handbook", 2nd ed. Munich: Hanser, 2008. ISBN 978-3-446-40781-7.  
 [7] K. Park, B. Kim, and D. Yao, "Numerical Simulation for Injection Molding with a Rapidly Heated Mold, Part I: Flow Simulation for Thin Wall Parts," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 45, no. 8, pp. 897-902, Aug. 2006.  
 [8] T. Pruden, "Hot Runner Technology for Bio-Resins." *Moldmaking technology magazine*, Dec. 2007, Gardner Publications.  
 [9] L.T. Lim, R. Auras, and M. Rubino, "Processing technologies for poly(lactic acid)," *Progress in Polymer Science*, vol. 33, no. 8, pp. 820-852, Aug. 2008.  
 [10] "Injection Molding Guide for Ingeo TM Biopolymer Injection Molding Guide for Ingeo TM Biopolymer," pp. 1-5.  
 [11] Pontes, A. J.; Brito, A. M.; Pouzada, A. S., "Effect of melt viscosity on the ejection force in injection moulds", *Materials Science Forum*, vols. 455-456, pp. 755-758, 2004.

# SIG.Moldes

Consegue controlar toda a informação relativa aos clientes, aos fornecedores e à produção do molde a partir de um único ecrã?

Com o SIG.Moldes, SIM!

Baseado na plataforma PHC Enterprise e integrado com o OrganiMold, o SIG.Moldes é uma completa solução para a gestão automatizada dos moldes que lhe permite obter:

- Controlo de custos de produção detalhado vs orçamentado
- Controlo de toda a informação das encomendas de clientes, produção e pedidos de orçamento para encomendas a fornecedores
- Geração automática de consumos e respetivos custos integrada com o OrganiMold
- Gestão da conta corrente dos clientes

**Ver para crer?**

Confie no parceiro PHC mais especializado no setor industrial, com provas dadas em inúmeras empresas como a sua!

Solicite mais informação ou uma demonstração personalizada:

Lisboa: +351 218 299 150 | Porto: +351 224 100 000 | [geral@winsig.pt](mailto:geral@winsig.pt) | [www.winsig.pt](http://www.winsig.pt)

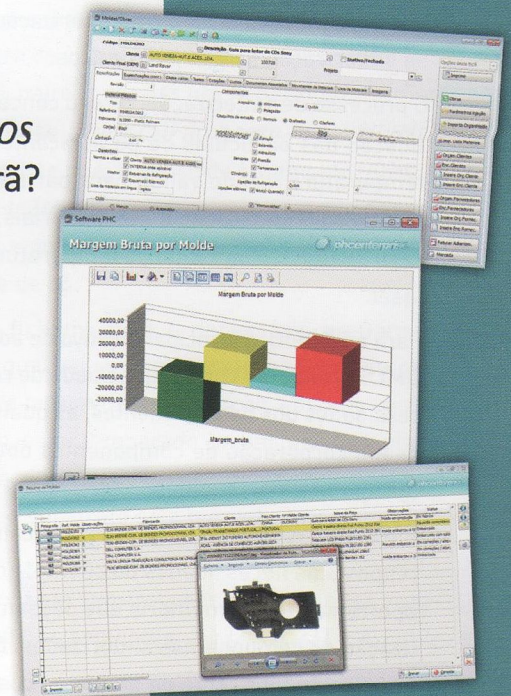
Descubra as soluções Winsig para a indústria:

SIG.Moldes

SIG.Têxtil

SIG.Componentes Automóvel

SIG.Plásticos



PORTUGAL ANGOLA

