



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**

**ELIZANDRA ECHEVARRIA MACHADO**

**BENEFICIAMENTO DE SEMENTES DE CORNICHÃO (*Lotus corniculatus* L.)  
ATRAVÉS DO RECOBRIMENTO EM LEITO DE JORRO**

**Bagé**  
**2017**

**ELIZANDRA ECHEVARRIA MACHADO**

**BENEFICIAMENTO DE SEMENTES DE CORNICHÃO (*Lotus corniculatus* L.)  
ATRAVÉS DO RECOBRIMENTO EM LEITO DE JORRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Engenharia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gabriela Silveira da Rosa

Co-orientador: Dr. João Carlos Pinto Oliveira

Bagé  
2017

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pela autora através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

M149b Machado, Elizandra Echevarria

BENEFICIAMENTO DE SEMENTES DE CORNICHÃO (*Lotus  
corniculatus* L.) ATRAVÉS DO RECOBRIMENTO EM LEITO DE  
JORRO / Elizandra Echevarria Machado.

118 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Pampa, MESTRADO EM ENGENHARIAS, 2017.

"Orientação: Gabriela Silveira da Rosa".

1. Cornichão. 2. Recobrimento. 3. Leito de jorro. I.  
Título.

**ELIZANDRA ECHEVARRIA MACHADO**

**BENEFICIAMENTO DE SEMENTES DE CORNICHÃO (*Lotus corniculatus* L.)  
ATRAVÉS DO RECOBRIMENTO EM LEITO DE JORRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Engenharia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia.

Área de concentração: Fenômenos de Transporte

Dissertação defendida e aprovada em: 06 de fevereiro de 2017.

Banca examinadora:



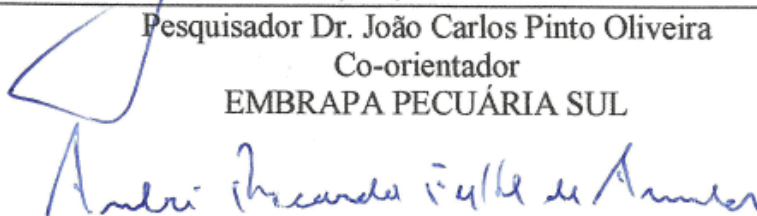
---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gabriela Silveira da Rosa  
Orientadora  
UNIPAMPA



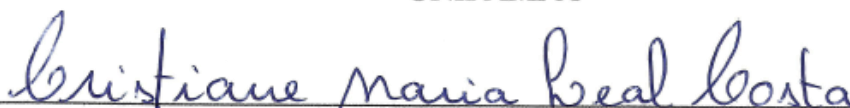
---

Pesquisador Dr. João Carlos Pinto Oliveira  
Co-orientador  
EMBRAPA PECUÁRIA SUL



---

Prof. Dr. André Ricardo Felkl de Almeida  
UNIPAMPA



---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cristiane Maria Leal Costa  
UFPA

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela presença constante em todos os momentos da minha vida.

À minha mãe, minha estrela no céu, que me ilumina e me protege sempre.

Ao meu pai, meu maior incentivador, por ele me esforço para ser melhor a cada dia.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gabriela Silveira da Rosa por ser incansável. Muito obrigada pela orientação e por todo o aprendizado adquirido mas, principalmente, pela amizade, paciência e carinho. À ti minha gratidão!

Ao Dr. João Carlos Pinto Oliveira pelas oportunidades e pelos ensinamentos transmitidos.

Aos bolsista de IC Bárbara, Fabíola, Gisele e Ricardo muito obrigada pela ajuda e pelas tardes divertidíssimas que vocês me proporcionaram.

Ao meu marido Henrique pela paciência, companheirismo e ajuda.

Aos amigos e familiares pela compreensão nos momentos de ausência e pelo incentivo.

Aos Laboratórios de Fenômenos de Transporte da Unipampa e ao Laboratório de Análise de Sementes da Embrapa Pecuária Sul muito obrigada pela disponibilidade e concessão do espaço.

À EMBRAPA Pecuária Sul também pelo suporte e fornecimento de matéria prima.

À UNIPAMPA e principalmente ao curso de Engenharia Química pelo suporte

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia pelo conhecimento adquirido.

À CAPES/CNPq pelo fomento.

À todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a finalização deste trabalho meu muito obrigado.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

## RESUMO

Atualmente o Rio Grande do Sul tem a alimentação pecuária baseada quase que exclusivamente em pastagens de elevado teor forrageiro. O cornichão (*Lotus corniculatus* L.) é uma forrageira que tem se destacado na região da campanha devido sua grande resistência ao frio e às geadas, porém, é uma semente muito pequena e leve, o que dificulta o uso e regulagem de tecnologias agrícolas. O recobrimento de sementes é uma técnica de beneficiamento que tem se apresentado promissora para corrigir falhas e melhorar as características de lotes de sementes, remover contaminantes, entre outros. O leito de jorro é um equipamento que pode ser utilizado no recobrimento de sementes pois seu movimento cíclico aliado com a atomização proporciona uma boa adesão da suspensão à partícula e uma secagem adequada resultando em uma cobertura regular e uniforme. Com isso, o presente trabalho apresentou como objetivo realizar o estudo do recobrimento de sementes de cornichão em leito de jorro. Para a realização deste trabalho foram utilizadas sementes de cornichão cedidas pela Embrapa Pecuária Sul (Bagé, RS). A metodologia consistiu em caracterizar física, fisiológica e morfológicamente as sementes; estudar diferentes formulações baseadas em componentes poliméricos para a suspensão de recobrimento; estudar a fluidodinâmica das sementes em leito de jorro; estudar o processo de recobrimento das sementes em leito de jorro e avaliar a qualidade do produto final. Para avaliar o recobrimento foi utilizado um planejamento experimental do tipo composto central rotacional (DCCR), tendo como variáveis independentes a temperatura do ar e a vazão da suspensão e como respostas a eficiência do processo, o crescimento das partículas e o peso de mil sementes (PMS). Os resultados obtidos para a fluidodinâmica mostraram que a carga mássica que melhor se adequou ao processo foi 500 g de sementes; os filmes poliméricos formados após o recobrimento em leito de jorro proporcionaram a obtenção de uma fina película sobre as sementes; os resultados da eficiência do processo foram entre 6 a 50 %, para o crescimento da partícula entre 0,3 a 2,9 % e para o PMS entre 1,10 a 1,52 g. A avaliação estatística permitiu verificar o efeito das condições experimentais (temperatura do ar e vazão da suspensão) sobre as respostas avaliadas. Considerou-se como mais satisfatório o experimento que proporcionou maiores valores para a eficiência do processo (50,36 %) e crescimento das partículas (2,91 %), provenientes do recobrimento com temperatura de 75 °C e vazão da suspensão de 13,4 mL/min. Através das análises realizadas para o produto final verificou-se que houve um incremento no tamanho e no peso das sementes. Também observou-se que as sementes não foram prejudicadas

fisiologicamente pois não foram danificadas suas reservas de substâncias e estrutura justificando a realização deste trabalho.

Palavras-chave: cornichão, recobrimento, leito de jorro.



## ABSTRACT

Nowadays, Rio Grande do Sul has livestock feed based almost exclusively on high forage pastures. The birds foot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) is a forage that has stood out in the region of the campaign due to its great resistance to the cold and the frosts, but it is a very small and light seed, which makes difficult the use and regulation of agricultural technologies. The seed coating is a beneficiation technique that has been promising to correct faults and to improve the characteristics of seed lots, to remove contaminants, among others. The spouted bed is an equipment that can be used in the coating of seeds because its cyclic movement combined with the atomization provides a good adhesion of the suspension to the particle and a suitable drying resulting in a regular and uniform coverage. Thus, the present study presented aimed at making the study of coating birdsfoot trefoil seeds in spouted bed. For the accomplishment of this work we used seeds of birds foot trefoil ceded by Embrapa Pecuária Sul (Bagé, RS). The methodology consisted in the physical, physiological and morphological characterization of the seeds; studying different formulations based on polymer components for the coating suspension; to study the fluid dynamics of the seeds in the spouted bed; to study the process of coating the seeds in the spouted bed and to evaluate the quality of the final product. In order to evaluate the coating, an experimental design of the central rotational compound type (DCCR) was used, having as independent variables the air temperature and the suspension flow rate and as responses to process efficiency, particle growth and the weight of one thousand seeds (PMS). The results obtained for the fluid dynamics showed that the mass load that best suited the process was 500 g of seeds; the polymer films formed after the spouted bed coating provided a thin film on the seeds; the results of the process efficiency were between 6 to 50 %, for particle growth between 0,3 to 2,9 % and for PMS between 1,10 to 1,52 g. The statistical evaluation allowed to verify the effect of the experimental conditions (air temperature and suspension flow) on the evaluated responses. It was considered as more satisfactory the experiment that provided higher values for the process efficiency (50,36 %) and particle growth (2,91 %), from the coating with a temperature of 75 °C and a flow rate of the suspension of 13,4 mL/min. Through the analyzes performed for the final product it was verified that there was an increase in the size and the weight of the seeds. It was also observed that the seeds were not harmed physiologically because their reserves of substances and structure were not damaged justifying the accomplishment of this work.

keywords: birds foot trefoil, coating, spouted bed.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Padrões de crescimento de espécies forrageiras de estação fria e quente.....	23
Figura 2 - Esquema de desenvolvimento de uma dicotiledônea .....	25
Figura 3 - Cornichão .....	25
Figura 4 - Curva típica de embebição .....	26
Figura 5 - Relação entre a umidade relativa do ar e o teor de água da semente.....	30
Figura 6 - Formas características das isotermas de sorção.....	31
Figura 7 - Mecanismo de formação de camadas (a) e coalescência (b) na granulação .....	33
Figura 8 - Escala para avaliar a qualidade do recobrimento .....	38
Figura 9 - Diagrama esquemático de um leito de jorro.....	43
Figura 10 - Transição de fases devido ao aumento da velocidade do fluido .....	43
Figura 11 - Curva típica fluidodinâmica .....	44
Figura 12 - Diagrama de <i>Geldart</i> para classificação de partículas .....	46
Figura 13 - Sementes de cornichão.....	53
Figura 14 – Estereomicroscópio .....	55
Figura 15 - Microscópio eletrônico de varredura .....	55
Figura 16 - Conjunto de peneiras.....	56
Figura 17 - Picnômetro gasoso .....	57
Figura 18- Aparato para determinação do ângulo de repouso.....	58
Figura 19 - Análise de germinação .....	59
Figura 20 - Curvas de Embebição.....	60
Figura 21- Esquema empregado para determinação das isotermas de adsorção .....	61
Figura 22 - Elaboração das suspensões poliméricas .....	62
Figura 23 - Metodologia de elaboração de filmes .....	63
Figura 24 - Representação do equipamento experimental utilizado.....	64
Figura 25 - Esquema do bico atomizador utilizado no recobrimento (a) a ilustração do bico utilizado no recobrimento e (b) seu esquema de montagem. ....	65
Figura 26- Leito de jorro utilizado no experimento.....	66
Figura 27 - Transdutores para determinar queda de pressão.....	66
Figura 28 - Insumos e materiais utilizados para semeadura em casa de vegetação (a) substrato; (b) vermiculita; (c) mistura de insumos 2:1; (d) placa de germinação com substratos .....	71
Figura 29 - Semeadura em casa de vegetação .....	71
Figura 30 - Croqui de semeadura das sementes de cornichão.....	72
Figura 31 - Materiais utilizados para semeadura a campo (a) área a ser semeada; (b) vista frontal das placas de regulagem de vazão; (c) vista superior das placas; (d) maquinário agrícola utilizado; (e) área sendo semeada .....	73
Figura 32 - Classificação quanto a <i>Geldart</i> .....	75
Figura 33 - Distribuição granulométrica .....	76
Figura 34 - Curva de embebição.....	77
Figura 35 - Morfologia das sementes <i>in natura</i> obtidas por estereomicroscópio .....	78

Figura 36- Morfologia das sementes in natura obtidas por MEV .....	78
Figura 37 - Morfologia dos filmes observados em estereomicroscópio .....	80
Figura 38 - Curva do branco.....	81
Figura 39 - Curvas fluidodinâmicas.....	82
Figura 40 - Diagrama de Pareto para eficiência do processo .....	85
Figura 41 - Resíduos para a eficiência do processo.....	86
Figura 42 - Superfície de resposta e curvas de contorno para eficiência do processo.....	87
Figura 43 - Diagrama de Pareto para o crescimento das partículas.....	88
Figura 44 - Resíduos para o crescimento das partículas .....	89
Figura 45 - Superfície de resposta e curvas de contorno para crescimento das partículas .....	90
Figura 46 - Diagrama de Pareto para o PMS.....	91
Figura 47 - Resíduos para o PMS .....	92
Figura 48 - Superfície de resposta e curvas de contorno para eficiência do processo.....	93
Figura 49 - Micrografias das sementes recobertas .....	94
Figura 50 - MEV das sementes de cornichão recobertas .....	95
Figura 51 - Curvas de embebição .....	98
Figura 52 - Curva de adsorção das sementes de cornichão.....	99
Figura 53 - Gráficos dos resíduos.....	101
Figura 54 - Desenvolvimento do cornichão em casa de vegetação .....	102
Figura 55 - Acompanhamento de altura.....	104
Figura 56 - Histograma da semente dentro da mesma amostra.....	105
Figura 57 - Histograma de semente das sementes de cornichão dentro da mesma abertura de vazão .....	106
Figura 58 - Área semeada.....	107

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Concentrações de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> utilizadas .....	61
Tabela 2 - Formulações das suspensões utilizadas .....	62
Tabela 3 - Valores codificados e originais para variáveis de planejamento .....	70
Tabela 4 - Valores referentes a caracterização das sementes.....	74
Tabela 5 - Concentração de sólidos .....	79
Tabela 6 - Parâmetros fluidodinâmicos obtidos experimentalmente.....	82
Tabela 7 – Parâmetros experimentais dos ensaios de recobrimento.....	83
Tabela 8 - Efeito das variáveis independentes na eficiência do processo.....	84
Tabela 9 - Análise estatística para a eficiência do processo.....	86
Tabela 10 - Efeito das variáveis independentes sobre o crescimento das partículas .....	88
Tabela 11 - Análise estatística para o crescimento das partículas .....	89
Tabela 12 - Efeito das variáveis independentes sobre o PMS.....	91
Tabela 13 - Análise estatística para o PMS.....	92
Tabela 14 - Valores para picnometria gasosa.....	96
Tabela 15 - Dados de germinação de sementes recobertas .....	97
Tabela 16 – Estimativa dos parâmetros para o modelo de GAB para as sementes de cornichão in natura e recobertas .....	100
Tabela 17 - Dados de germinação de sementes recobertas .....	103
Tabela 18 - Valores de semeadura ideal e real .....	104

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de armazenamento de sementes .....	29
Quadro 2 - Alguns trabalhos envolvendo recobrimento de partículas em leito de jorro .....	35
Quadro 3 - Trabalhos envolvendo recobrimento de sementes .....	39
Quadro 4 - Trabalhos em que foram utilizados variações do leito de jorro .....	42
Quadro 5 - Parâmetros envolvidos no recobrimento de partículas por aspersão.....	48
Quadro 6 - Características da atomização dependendo da posição do atomizador .....	49
Quadro 7 - Trabalhos envolvendo recobrimento de sementes em leito de jorro .....	50
Quadro 8 - Planejamentos referentes a estudos sobre recobrimento em leito de jorro e fluidizado .....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2DSB	Leito de jorro bidimensional
ANOVA	Análise de variância
AOAC	<i>Association of Official Analytical Chemists</i>
BET	Brunauer; Emmett; Teller
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CPPSul	Centro de Pesquisa Pecuária Sul
CSM	Comissão de Sementes e Mudanças
cv.	Cultivar
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
DTSB	Leito de jorro com tubo interno
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEE	Fundação de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul
GAB	Guggenheim; Anderson; de Boer
H <sub>2</sub> O	Água
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfúrico
JSB	Leito de jorro diluído
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
O <sub>2</sub>	Oxigênio
PEBD	Poliétileno de baixa densidade
PIB	Produto Interno Bruto
PMS	Peso de mil sementes
PP	Polipropileno
OS	Poliestireno
RAS	Regras para Análise de Sementes
RS	Rio Grande do Sul
s.d.	Sem data
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UNIPAMPA	Universidade Federal do Pampa
VFB	Leito vibro-jorrado

## LISTA DE SÍMBOLOS

$C$	Constante de Guggenheim	[-]
$C_{sus}$	Concentração de sólidos na suspensão	[MM <sup>-1</sup> ]
$d_i$	Diâmetro médio de abertura das peneiras	[L]
$d_p$	Diâmetro da partícula	[L]
$dp_s$	Diâmetro médio de <i>Sauter</i>	[L]
$k$	Fator de correção para multicamada molecular	[-]
$m_{as}$	Massa da amostra seca	[M]
$m_{au}$	Massa da amostra úmida	[M]
$m_f$	Carga mássica final (sólidos secos) após o recobrimento	[M]
$m_o$	Carga mássica inicial (sólidos secos) adicionada ao leito de jorro	[M]
$m_{sementes}$	Massa que 1/3 de sementes ocupou no picnômetro	[M]
$m_{sólido\ seco}$	Massa de sólidos secos	[M]
$m_{sus}$	Massa de suspensão	[M]
$m_{sus\ total}$	Massa da suspensão total (sólidos secos + água).	[M]
$t$	Tempo de processo	$\theta$
$T_{ar}$	Temperatura do ar	[T]
$U_{b.s.}$	Teor de umidade em base seca	[%]
$U_{b.u.}$	Teor de umidade em base úmida	[%]
$U_{jm}$	Velocidade de jorro mínimo	[LT <sup>-1</sup> ]
$U_M$	Velocidade de jorro máximo	[LT <sup>-1</sup> ]
$UR$	Umidade relativa do ar	[%]
$V_{sementes}$	Volume ocupado pelas sementes	[L]
$V_{sus}$	Volume ocupado pela suspensão	[L]
$W_{ar}$	Vazão do ar	[MT <sup>-1</sup> ]
$W_s$	Vazão da suspensão	[L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup> ]
$X_1$	Variável codificada de temperatura do ar	[-]
$X_2$	Variável codificada de vazão da suspensão	[-]
$X_{eq}$	Umidade de equilíbrio	[-]
$x_i$	Fração mássica retida em cada peneira	[-]
$X_m$	Conteúdo de umidade da monocamada	[-]
$\Delta P_{equipamento}$	Queda de pressão do equipamento	[MT <sup>-2</sup> L <sup>-1</sup> ]
$\Delta h$	Altura diferencial manométrica	[L]
$\Delta P_{leito\ de\ partículas}$	Queda de pressão do leito de partículas	[MT <sup>-2</sup> L <sup>-1</sup> ]
$\Delta P_M$	Queda de pressão máxima	[MT <sup>-2</sup> L <sup>-1</sup> ]
$\Delta P_s$	Queda de pressão de jorro estável	[MT <sup>-2</sup> L <sup>-1</sup> ]
$\Delta P_{total}$	Queda de pressão total do equipamento	[MT <sup>-2</sup> L <sup>-1</sup> ]
$\varepsilon$	Porosidade do leito de partículas	[-]



$\delta$	Crescimento das partículas	[%]
$\rho_{aparente}$	Massa específica aparente	[ML <sup>3</sup> ]
$\rho_{ar}$	Massa específica do ar	[ML <sup>3</sup> ]
$\rho_f$	Massa específica do fluido	[ML <sup>3</sup> ]
$\rho_{real}$	Massa específica real	[ML <sup>3</sup> ]
$\rho_{realgasoso}$	Massa específica real obtida por picnometria gasosa	[ML <sup>3</sup> ]
$\rho_{realliquido}$	Massa específica real obtida por picnometria líquida	[ML <sup>3</sup> ]
$\rho_s$	Massa específica dos sólidos	[ML <sup>3</sup> ]
$\rho_{sus}$	Massa específica da suspensão	[ML <sup>3</sup> ]
$\eta$	Eficiência do processo de recobrimento	[%]

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	21
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	21
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	21
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	22
<b>3.1 A Pecuária no Brasil e no Rio Grande do Sul</b> .....	22
<b>3.2 Cornichão (<i>Lotus corniculatus</i> L.)</b> .....	24
<b>3.3 Beneficiamento e armazenamento de sementes</b> .....	27
<b>3.4 Recobrimento de partículas</b> .....	32
<b>3.5 Recobrimento de sementes</b> .....	36
<b>3.6 Leito de Jorro</b> .....	40
<b>3.7 Recobrimento de sementes em Leito de Jorro</b> .....	47
<b>3.8 Planejamento Experimental</b> .....	51
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	53
<b>4.1 Montagem e instalação do leito de jorro</b> .....	53
<b>4.2 Caracterização das sementes de cornichão</b> .....	54
<b>4.3 Elaboração e caracterização das suspensões e dos filmes poliméricos</b> .....	61
<b>4.4 Equipamento experimental</b> .....	64
<b>4.5 Fluidodinâmica</b> .....	66
<b>4.6 Recobrimento em Leito de Jorro</b> .....	67
<b>4.7 Planejamento Experimental</b> .....	69
<b>4.8 Avaliação do Produto Final</b> .....	70
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	74
<b>5.1 Caracterização das sementes de cornichão <i>in natura</i></b> .....	74
<b>5.2 Elaboração e caracterização das suspensões e dos filmes poliméricos</b> .....	79
<b>5.3 Estudo fluidodinâmico das sementes em leito de jorro</b> .....	80
<b>5.4 Ensaio de Recobrimento</b> .....	83
<b>5.5 Avaliação do produto final</b> .....	93
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	108
<b>7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	110
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	111

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil, assim como o Rio Grande do Sul, atualmente, tem grande destaque na pecuária devido aos grandes índices de exportação desse produto. A vasta extensão territorial rica de biomas compostos por inúmeras espécies de gramíneas e leguminosas favorece os sistemas de produção de bovinos que são baseados em pastagens de elevado teor forrageiro (SOARES, 2012; TREVISAN, 2012; PORTO, 2008).

Quando a alimentação pecuária ocorre baseada em pastagens, é necessário que a escolha das espécies utilizadas seja bem estudada pois a rentabilidade e a sustentabilidade da produção depende da escolha correta das mesmas. Também deve se levar em conta a necessidade de cada categoria a fim de oferecer qualidade e quantidade suficiente de forragem para os bovinos (TREVISAN, 2012).

O Rio Grande do Sul apresenta um clima predominantemente temperado do tipo subtropical. Devido a essa peculiaridade é necessário encontrar espécies que se adaptem e se desenvolvam bem sob essas condições (PORTO, 2008). O cornichão (*Lotus corniculatus* L.) é uma leguminosa forrageira que se destaca por sua versatilidade de adaptação, seu excelente valor nutricional e sua grande resistência ao frio e às geadas (SOSTER et al., 2004; CARVALHO et al., 2010).

Esta espécie apresenta inúmeras vantagens, porém, também apresenta alguns *deficits* como problemas de estabelecimento lento e baixa persistência, grande variabilidade na maturação das vagens, baixa habilidade competitiva que favorece a emergência de plantas invasoras, dormência tegumentar além de ser muito leve e apresentar pequena área superficial (JACOB JÚNIOR et al., 2004; OLIVEIRA; KÖPP; BARRES, 2015).

O beneficiamento de semente é uma etapa pós-colheita fundamental para se obter sementes de boa qualidade, pois é possível remover contaminantes, como sementes de outras espécies e de ervas daninhas além de, sementes deterioradas (FRANÇA NETO et al., 2007).

Dentre as técnicas de beneficiamento de sementes tem-se o recobrimento, uma técnica que tem apresentado vantagens ao agricultor pois permite a aplicação conjunta de fungicida, inseticida, micronutrientes e inoculantes, melhora as condições de plantabilidade além de uniformizar o tamanho, peso e formato das sementes (TAYLOR et al., 1998; AVELAR, 2009).

Um equipamento que tem sido aplicado em inúmeros processos, entre eles o recobrimento de partículas, é o leito de jorro. Sua utilização no recobrimento de sementes se

justifica pois proporciona uma cobertura regular e uniforme às sementes devido ao movimento cíclico do equipamento aliado a atomização e a secagem das partículas (POZITANO, 2011; FREITAS; FREIRE, 2001).

O processo de recobrimento de partículas em leito de jorro consiste basicamente na aplicação de uma suspensão sobre as sementes, na qual o movimento promoverá uma distribuição homogênea por todo o leito de sólidos (TEUNOU; PONCELET, 2002; FREIRE; OLIVEIRA, 1992). Para a utilização de polímeros naturais no recobrimento deve-se levar em conta vários fatores como, por exemplo, custos, disponibilidade, propriedades mecânicas (resistência e flexibilidade), propriedades de barreira (permeabilidade ao vapor de água), entre outros (CORRÊA, 2011).

Em suma, é de extrema importância a realização de um beneficiamento de sementes adequado, visto que as sementes representam um meio de reprodução vegetal, além de servirem como veículo da tecnologia agrícola. É necessário conferir aos lotes de sementes boa qualidade e características apropriadas à comercialização mantendo-se a quantidade e a qualidade desde a colheita até o consumo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Realizar o estudo do recobrimento de sementes de cornichão (*Lotus corniculatus* L.) em leito de jorro a fim de proporcionar o aumento de peso e o crescimento das sementes.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar física, fisiológica e morfológicamente as sementes de cornichão;
- Estudar diferentes formulações para a suspensão de recobrimento;
- Estudar a fluidodinâmica das partículas em leito de jorro;
- Estudar o processo de recobrimento das sementes em leito de jorro, analisando a influência das condições operacionais (temperatura do ar e vazão da suspensão) na eficiência do recobrimento, no crescimento da partícula e no peso de mil sementes (PMS);
- Avaliar o produto final.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 A Pecuária no Brasil e no Rio Grande do Sul**

A origem da pecuária no Brasil teve início da necessidade de outras formas de subsistência durante o período colonial. Atualmente, é um dos países que mais se destaca no que se refere a pecuária, sendo o segundo maior exportador de carne bovina. Segundo informações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (2014), o Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio em 2014 representou entre 22,0 % e 23,0 % do PIB total da economia brasileira sendo que as atividades agrícolas representam 70 % e a pecuária, cerca de 30 % do valor produzido no ano.

A pecuária, primeira atividade econômica do espaço agrário gaúcho foi fundamental para a formação da sociedade gaúcha, tanto do ponto de vista econômico quanto social (PORTO, 2008). Segundo dados da Fundação de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul (FEE) (2014) o PIB do Rio Grande do Sul (RS) teve crescimento nulo quando comparado ao ano anterior, porém, o setor de serviços e a agropecuária foram os únicos que avançaram 1,2 e 0,6 %, respectivamente.

O Brasil é um país que possui uma vasta extensão territorial, com vários tipos de biomas compostos de um grande número de espécies e variedades de gramíneas e leguminosas adaptadas a cada região (TREVISAN, 2012). Já o Rio Grande do Sul possui dois biomas sendo um deles o bioma Mata Atlântica, que abrange 13,04 % do território brasileiro com uma área de 1.110.182 km<sup>2</sup> que estende-se para o interior do sudeste e sul do país, sendo definido pela vegetação florestal e relevo diversificado e o outro o bioma Pampa, restrito ao estado. O bioma Pampa possui uma área de 176.496 km<sup>2</sup>, ou seja, 2,07 % do território brasileiro, definido por um conjunto de vegetação de campo em relevo de planície com predomínio dos campos nativos com notável diversidade de gramíneas e leguminosas (PORTO, 2008).

Devido a esse imenso e rico bioma, os sistemas de produção de bovinos são baseados quase que exclusivamente em pastagens. No Rio Grande do Sul, a base alimentar da pecuária é o campo nativo composto por espécies que apresentam elevado valor forrageiro (SOARES, 2012).

O Rio Grande do Sul possui uma base agrícola forte e uma tradição histórica na produção de sementes que engloba produtores nacionais que trabalham dentro das normas da Comissão

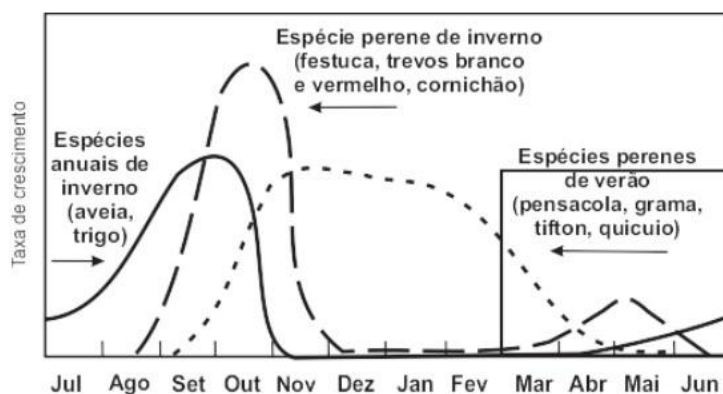
de Sementes e Mudas (CSM/RS). Porém, esse mercado ainda apresenta-se desorganizado, muitas vezes ignorando as Normas e Padrões de Produção de Sementes do estado (MELO; BARROS, 2005).

Na atividade pecuária com alimentação baseada em pastagens, a planta forrageira exerce papel fundamental no sistema, pois a rentabilidade e a sustentabilidade dependem da escolha correta das mesmas. O pastejo com pastagem natural tem o objetivo de oferecer qualidade e quantidade suficiente de forragem para os bovinos dependendo das necessidades de cada categoria. O campo nativo possui espécies forrageiras que produzem naturalmente um elevado número de matéria seca digerível por área, se manejadas adequadamente (TREVISAN, 2012).

Características importantes em uma planta forrageira incluem a produção de forragem de qualidade, a persistência e a capacidade de produzir sementes viáveis. A avaliação do potencial de produção de sementes é de extrema importância, visto que esse é o meio mais fácil, rápido e econômico de propagação e manutenção da população no campo (ressemeadura natural) (LOPES; FRANKE, 2011).

A qualidade de uma forragem é determinada pela concentração de nutrientes, pela digestibilidade e pela natureza dos produtos finais da digestão, já o valor nutritivo da pastagem é o resultado das espécies presentes e da quantidade de forragem disponível, bem como da qualidade de cada espécie. A temperatura, a disponibilidade de água, a fertilidade do solo e a quantidade de radiação solar são os fatores mais importantes que determinam a quantidade e o valor nutritivo da forragem produzida, sendo assim, os padrões de crescimento das espécies diferem quanto a reação a temperatura durante as estações do ano como mostra a Figura 1 (PAULA JÚNIOR, 2007).

Figura 1 - Padrões de crescimento de espécies forrageiras de estação fria e quente



Fonte: Paula Júnior (2007)

Através da Figura 1 pode-se observar que forrageiras de estação fria apresentam pico de produção no inverno e na primavera, enquanto forrageiras de estação quente apresentam maior produtividade durante os meses mais quentes. Durante o inverno, tem-se uma queda na produção de forragem devido as baixas temperaturas e luminosidade, enquanto, no verão, a água é o fator mais limitante à produção de forragem (PAULA JÚNIOR, 2007).

As espécies anuais de inverno como, por exemplo, aveia, centeio, trigo, cevada e azevém, de forma geral, são mais precoces e apresentam pico de produção na primavera. As espécies perenes de inverno, como a festuca, trevos branco e vermelho e cornichão apresentam pico principal na primavera e outro, menor, no outono, sendo uma alternativa estratégica para preencher o *déficit* forrageiro outonal. Já as espécies perenes de verão como, grama-forquilha, pensacola, e capim-elefante apresentam maior produção durante o verão (PAULA JÚNIOR, 2007).

O Rio Grande do Sul, localizado no extremo meridional do Brasil, apresenta um clima temperado do tipo subtropical, classificado como mesotérmico úmido. Considerando suas coordenadas, se diferencia do restante do país uma vez que a sua latitude reforça as influências das massas de ar oriundas da região polar e da área tropical continental e atlântica que definem muitas das características climáticas do estado como, por exemplo, a grande variação sazonal de temperatura (PORTO, 2008). Devido a esse clima é necessário encontrar espécies que se adaptem e se desenvolvam bem sob essas condições.

### **3.2 Cornichão (*Lotus corniculatus* L.)**

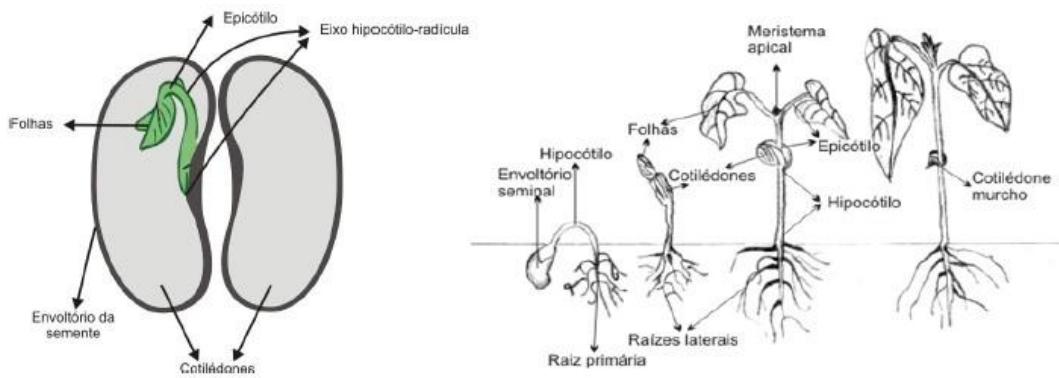
O cornichão, a forrageira com maior área semeada no sul do Brasil e no Uruguai (FORMOSO, 2011; MELO; BARROS, 2005), foi difundido no estado em 1940 a partir do desenvolvimento do cultivar (cv.) São Gabriel. Entretanto, não existe controle de gerações, o que compromete a pureza genética. As áreas registradas sofreram diminuição entre 1995 e 2000 (MELO; BARROS, 2005).

É uma planta perene de inverno, pouco pilosa, com caule de hábito ereto. A raiz é pivotante e muito ramificada, com sistema de raízes profundo. A inflorescência é em forma de umbelas com três a quatro flores de coloração amarelo brilhante. O legume é linear com coloração que varia de marrom a púrpura. As sementes são escuras, esféricas e pequenas



(FONTANELI; SANTOS; FONTANELI, 2012). É uma dicotiledônea com desenvolvimento conforme a Figura 2.

Figura 2 - Esquema de desenvolvimento de uma dicotiledônea



Fonte: Zimmer (2007)

Segundo Zimmer (2007), na grande maioria das espécies dicotiledôneas, o embrião em desenvolvimento se nutre das reservas acumuladas no endosperma e no perisperma (quando presente) armazenando energia para o desenvolvimento da plântula. A primeira estrutura visível após a germinação é a radícula, ou raiz primária, que servirá para fixação e absorção de água e nutrientes. A segunda estrutura a sair da semente é o caule que, quando emerge no solo é curvado de forma a proteger a plúmula e os cotilédones que após desdobra-se para expor a plúmula e os cotilédones para cima até aguardar a fotossíntese.

Após estabelecida, a planta de cornichão se estrutura conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 - Cornichão



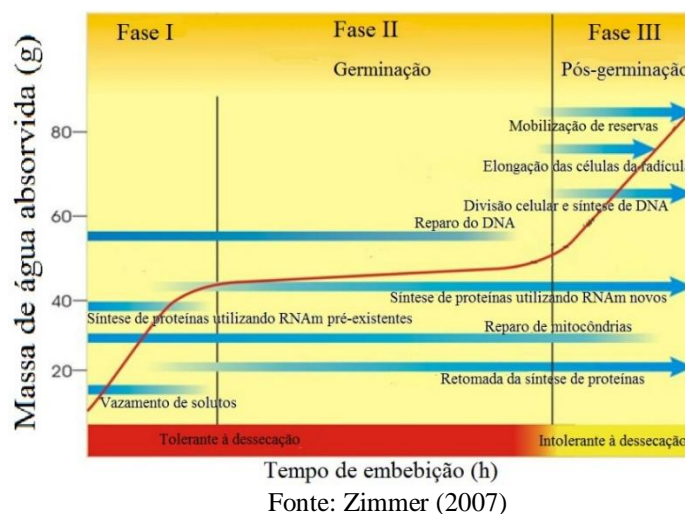
Fonte: Autora (2017)

O cornichão é uma leguminosa forrageira que se destaca por sua versatilidade e a tolerância à baixa fertilidade do solo, além de seu excelente valor nutritivo que fica em torno de 24 % de proteínas e 86 % de digestibilidade (SOSTER et al., 2004). Bastante resistente ao frio, prefere climas de temperado frio a temperado médio, resistindo bem às geadas. Por essa razão é uma espécie muito bem adaptada à maioria dos solos e regiões do RS sendo uma das leguminosas preferenciais para a região da Campanha. Sua tolerância à deficiência hídrica deriva de seu sistema de raízes pivotantes que se aprofundam no solo, buscando água em camadas mais profundas (CARVALHO et al., 2010).

É uma forrageira exótica que além da fácil adaptação ao clima temperado também tem um papel importante no melhoramento do campo nativo, incrementando a quantidade, a qualidade e a sustentabilidade das pastagens no Sul do Brasil. A utilização destas espécies além de proporcionar um aumento na palatabilidade e no conteúdo protéico da forragem produzida, também auxilia na melhoria das características dos solos (GOMES; FRANKE; LOPES, 2011).

As sementes desta espécie, apesar de várias vantagens, apresentam dormência tegumentar. Essa dormência é causada por um bloqueio físico representado pelo tegumento resistente e pouco permeável que, ao impedir o trânsito da água e as trocas gasosas, não permite a embebição da semente nem a oxigenação do embrião, que por isso permanece latente. Procedimentos que permitem romper o tegumento das sementes como, por exemplo, a escarificação, fazem-nas absorver água, promovem sua germinação e a emergência de plântulas (JACOB JÚNIOR et al., 2004). O processo de embebição das sementes pode ser observado através da curva característica de embebição apresentada na Figura 4.

Figura 4 - Curva típica de embebição



Esta espécie é a leguminosa com maiores dificuldades de se obter altos rendimentos de semente colhida. Os fatores que limitam a produção de sementes em escala comercial são o seu hábito de crescimento indeterminado, períodos de florescimento extremamente longos, grande variabilidade na maturação das vagens e velocidade inicial de crescimento lenta em função das sementes serem muito pequenas (FORMOSO, 2011). Também verifica-se que o cornichão apresenta uma baixa habilidade competitiva no início do ciclo favorecendo a emergência de plantas invasoras (OLIVEIRA; KÖPP; BARRES, 2015).

### **3.3 Beneficiamento e armazenamento de sementes**

Considerando-se como complexas e dinâmicas as características que se referem a qualidade das sementes pode-se admitir que é impossível defini-las através de um único parâmetro. Isto é, a qualidade das sementes pode ser representada pelo somatório dos atributos físicos, fisiológicos, morfológicos, genéticos e sanitários. Sendo assim, é muito relevante o estudo dos fatores que podem vir a prejudicar a qualidade das sementes (SUNE, 2006).

É de extrema importância a realização de um correto beneficiamento de sementes para remover contaminantes tais como materiais estranhos (vagens, ramos, torrões e insetos), sementes de outras culturas e de ervas daninhas. Além disso, tal operação também apresenta finalidades como a classificação de semente por tamanho; melhorar a qualidade do lote pela remoção de semente danificada e deteriorada; aplicar fungicidas e inseticidas à semente, quando necessários; e para embalar adequadamente a semente para a sua comercialização (FRANÇA NETO et al., 2007). Estudos realizados por Ferreira (2010) mostram que o correto beneficiamento de sementes promoveu uma melhoria na qualidade fisiológica das sementes de milho amiláceo.

As sementes, em geral, representam um meio de reprodução vegetal assim como podem servir como veículo da tecnologia agrícola. Porém, com a competitividade do mercado cada vez maior, as etapas de colheita e beneficiamento devem ser cuidadosamente realizadas, de modo particular para cada espécie, de maneira a conferir aos lotes de sementes boa qualidade e características apropriadas à comercialização (COSTA, 2010).

Muitos problemas com materiais orgânicos estão relacionados com o teor de umidade desses produtos e a umidade do ambiente, devido ao fato dos mesmos se comportarem como materiais higroscópicos e mudarem seu teor de umidade em função da temperatura e umidade

relativa do ambiente. Operações efetuadas com produtos agrícolas como, por exemplo, colheita, processamento, armazenamento e transporte, exigem que a quantidade e a qualidade sejam mantidas desde a colheita até o consumo, tornando o controle da umidade essencial. O excessivo teor de umidade nesse tipo de material causa grandes perdas durante o armazenamento, pois aumenta o risco de desenvolvimento de fungos, já o teor muito baixo de umidade pode resultar na queda de qualidade e na viabilidade do mesmo (COSTA, 2010).

Para reduzir ao mínimo o processo de deterioração, as sementes devem ser armazenadas adequadamente. O objetivo é manter sua qualidade, desde que atingem o ponto final de maturação até quando serão semeadas. Se as sementes não são conservadas em condições favoráveis constantes, perdem sua viabilidade em poucos anos. Em geral, as sementes tem seu tempo de vida divididas em sementes de vida longa e vida curta. A família das leguminosas se enquadra nas espécies de vida longa. O cornichão tem uma longevidade estimada em 18 anos quando armazenado sob condições de ambiente controlado (armazéns ou câmaras de conservação) (LABBÉ, 2007).

Além da importância das sementes serem armazenadas em ambientes adequados, deve-se considerar o tipo de embalagem utilizada. É possível observar, através do Quadro 1, os tipos de embalagens existentes quanto à permeabilidade conforme mencionado por Labbé (2007).

Quadro 1 - Tipos de armazenamento de sementes

Tipo de embalagem	Material	Indicação	Vantagens	Desvantagens
Embalagens porosas ou permeáveis	Saco de pano de algodão; Aniagem; Juta (de papel multifoliado e de plástico ou polipropileno trançado)	Curtos períodos de armazenamento e, de preferência, em climas secos	Baixo custo; Resistência à ruptura e ao choque; Facilidade de empilhamento e manuseio	Permite trocas de umidade entre a semente e o ambiente; Variações de umidade dentro da embalagem
Embalagens resistentes à penetração do vapor de água ou semipermeáveis	Sacos plásticos finos ou de polietileno (0,075 a 0,125 mm de espessura); Sacos de papel multifoliado laminados com polietileno	Regiões de umidade relativa do ar mais altas, porém ainda por período limitado de tempo	Maior resistência à umidade do que as embalagens porosas; Facilidade de imprimir marcas; Boa apresentação	O teor de água das sementes deve ser mais baixo do que as acondicionadas em embalagens totalmente porosas
Embalagens impermeáveis ou à prova de umidade ou completamente vedadas	Plástico (mais de 0,125 mm de espessura); Pacotes de alumínio; Latas de alumínio (todos quando bem vedados)	Quando se necessita de completa resistência às trocas de umidade com o ambiente	Não permitem o equilíbrio do teor de umidade da semente com o ar exterior, nem flutuações de umidade dentro da embalagem	O teor de água das sementes deve ser mais baixo do que para as sementes nos outros tipos de embalagens (8 a 9 % para amiláceas e 4 a 7% para as oleaginosas)

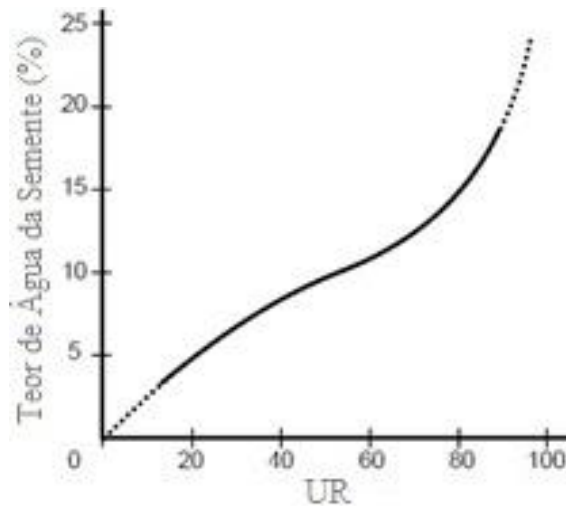
Fonte: Autora (2017)

Verifica-se, com o auxílio do Quadro 1, que existem vários tipos de embalagens, cada uma se adequando a uma exigência e necessidade específica das sementes. Portanto, tem-se a relevância deste assunto dentro do beneficiamento e armazenamento de sementes.

Existindo uma relação de absorção e perda de umidade entre as sementes e o ambiente que as rodeia, há também um ponto de equilíbrio onde igualam-se as pressões de vapor de umidade tanto da semente como do ar. Esse ponto é chamado de umidade de equilíbrio das sementes e se define como o teor de umidade alcançado pela semente depois de certo período de tempo submetido a condições de umidade relativa do ar e temperaturas constantes (LABBÉ, 2007).

Com a determinação da umidade de equilíbrio das sementes de leguminosas obtém-se uma curva sigmoidal, a qual é apresentada na Figura 5. À temperatura constante, o teor de umidade da semente aumenta junto com a umidade relativa do ar, sendo o incremento mais agudo com umidade do ar igual ou acima de 80 % (LABBÉ, 2007).

Figura 5 - Relação entre a umidade relativa do ar e o teor de água da semente

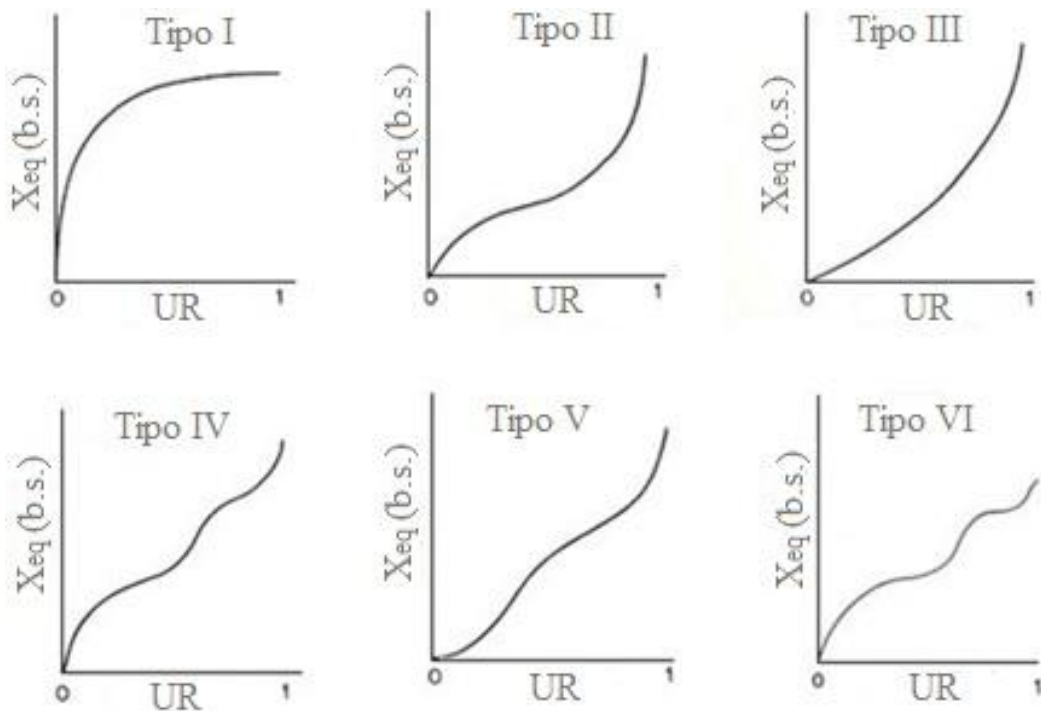


Fonte: Labbé (2007)

A análise das isotermas de sorção visa estabelecer o equilíbrio de sorção de água do produto, verificar a aplicabilidade de modelos matemáticos para predição do comportamento isotérmico de sorção de água e estimar o nível crítico de umidade residual que lhe confere maior estabilidade de armazenagem (COSTA, 2010).

Segundo Park et al., (2007) uma isoterma de sorção pode ser de adsorção quando um material seco é colocado em contato com diferentes atmosferas e isso proporciona um incremento no peso devido ao aumento da atividade de água; ou de dessorção quando o material inicialmente úmido é colocado sob as mesmas condições ambientais utilizadas na adsorção, e a diminuição no peso ocorre devido à saída de água. O estudo das isotermas de sorção mostra cinco diferentes formas conforme classificado por Brunauer; Emmett; Teller (1938) e observado na Figura 6.

Figura 6 - Formas características das isotermas de sorção



Fonte: Brunauer; Emmett; Teller (1938)

Conforme é possível observar na Figura 6, as isotermas de cada produto assumem uma forma diferente e essas podem ser definidas como:

- tipo I - isoterma tipo Langmuir caracteriza uma adsorção pura em camada monomolecular;
- tipo II - isoterma característica de formação de múltiplas camadas de moléculas de adsorbato sobre a superfície do sólido. Frequentemente encontrada para sólidos não porosos, sendo típica para produtos alimentícios;
- tipo III - embora similar ao tipo II, são raramente observadas em sólidos não porosos. Seu formato sugere também adsorção em camadas polimoleculares;
- tipo IV e V - refletem a condensação capilar, quando a pressão de saturação do vapor do adsorbato é atingida, e
- tipo VI - é um tipo de isoterma raramente encontrada e representa uma adsorção em várias etapas, sugerindo adsorção em multicamadas num substrato uniforme não poroso. A altura dos degraus representa a capacidade de adsorção da monocamada podendo permanecer constante durante duas ou três camadas adsorvida.

### 3.4 Recobrimento de partículas

O termo recobrimento de partículas abrange uma grande variedade de operações unitárias praticadas por um vasto número de indústrias de processamento como, por exemplo, as indústrias de beneficiamento de minério, fármacos, alimentos, cosméticos e produtos agrícolas. Esses processos incluem a produção de comprimidos, briquetes de combustíveis sólidos, recobrimento à embalagem aplicada ao alimento, minérios, produtos químicos industriais, fertilizantes, moldagem de polímeros, cerâmicas e pós metálicos prensados. Consiste em uma técnica que objetiva revestir a superfície de partículas, utilizando uma camada de solução ou suspensão. O processo consiste basicamente em se atomizar uma solução sobre as partículas de modo a promover uma distribuição homogênea por todo o leito de sólidos (TEUNOU; PONCELET, 2002).

Pode ser dividido conforme Freire; Oliveira (1992) em três grupos principais:

- suspensões aquosas à base de açúcar - muito utilizadas nas indústrias farmacêutica e alimentícia, para recobrimento de balas, confeitos e comprimidos pois esse processo provoca um grande aumento no volume da partícula, podendo chegar até 50 % em relação ao inicial;
- por película - consiste na deposição de uma membrana fina e uniforme na superfície das partículas que tem como principal vantagem uma maior eficiência e rendimento do processo. Essa membrana é composta por um polímero, um plastificante, um pigmento corante e um solvente sendo o plastificante o responsável pela flexibilidade final da película e os solventes facilitam a deposição dos materiais formadores de película à superfície do substrato, e
- solidificação de material fundido - o material é atomizado sobre as partículas no estado fundido e ao resfriar provoca a solidificação do material de cobertura sobre as partículas.

Os filmes podem ser compostos por substâncias biodegradáveis que são películas finas formadas a partir de polímeros naturais, de origem animal ou vegetal. Os principais grupos de polímeros naturais utilizados para a produção de filmes são: proteínas (caseínas, glúten, colágeno e gelatina); polissacarídeos (quitosana, amido, alginatos, pectinas e gomas); e lipídios (ácidos graxos, ceras naturais, entre outros). A técnica de produção dos filmes a partir de uma solução filmogênica envolve, inicialmente, uma etapa de solubilização do polímero em um solvente (água, etanol, solução de ácido acético, entre outros.) ao qual podem ser incorporados

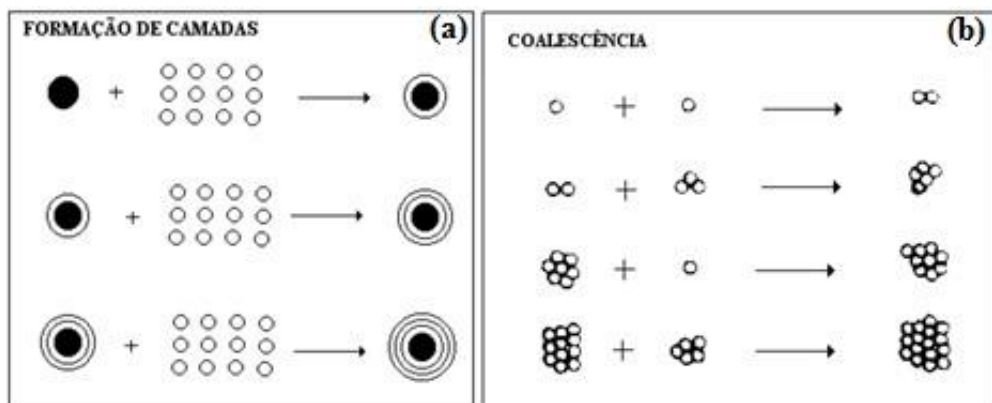


diversos aditivos (plastificantes, agentes reticulantes, agentes antimicrobianos, entre outros). O recobrimento baseado em polímeros naturais depende de vários fatores, incluindo custo, disponibilidade, atributos funcionais, propriedades mecânicas (resistência e flexibilidade), qualidades ópticas (brilho e opacidade), propriedades de barreira (permeabilidade ao vapor de água, O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>), resistência estrutural à água (solubilidade) e aceitação sensorial (CORRÊA, 2011).

A compreensão dos mecanismos de atuação da força de adesão e do mecanismo de crescimento de partículas, nos mais variados processos com sistemas particulados, é fundamental. Nos processos que envolvem recobrimento/granulação de sólidos em geral a definição mais utilizada descreve que força de adesão é a interação que ocorre entre uma partícula e um substrato, sendo função das propriedades físicas dos materiais e de processos físico-químicos envolvidos. Dessa forma, pode-se mencionar basicamente dois mecanismos de crescimento de partículas, um deles iniciando em torno de um núcleo, no qual partículas menores colidem e aderem formando camadas concêntricas, denominado de formação de camadas e outro por coalescência (FREIRE; OLIVEIRA, 1992).

A Figura 7 apresenta, esquematicamente, estes mecanismos básicos de crescimento de partículas.

Figura 7 - Mecanismo de formação de camadas (a) e coalescência (b) na granulação



Fonte: Freire; Oliveira (1992)

Verifica-se, através da Figura 7(a), que uma partícula pode aumentar de tamanho quando recoberta por camadas de um material sólido ou líquido em solução ou suspensão; já através da Figura 7(b) verifica-se que o crescimento ocorre através da aglomeração de partículas entre si ocasionando um rápido crescimento dos grânulos, porém, irregular e de menor

resistência mecânica do que aquele que cresceu pelo mecanismo de deposição de camadas (FREIRE; OLIVEIRA, 1992).

No Quadro 2 é possível verificar alguns dos inúmeros estudos que vem sendo desenvolvidos sobre recobrimento de partículas, bem como seus objetivos e resultados. É possível observar que o processo é importante nas diversas áreas do conhecimento, desde a área farmacêutica quando é possível estudar o envoltório de comprimidos até a área agrícola quando é possível controlar as emissões de um determinado produto.

Quadro 2 - Alguns trabalhos envolvendo recobrimento de partículas em leito de jorro

Título	Referência	Partículas	Objetivos	Principais resultados
Avaliação da fluidodinâmica e do recobrimento de grânulos de ureia em leito de jorro para minimizar as perdas de nitrogênio	Costa (2015)	Ureia	Estudar a fluidodinâmica dos grânulos de ureia em leito de jorro e o processo de recobrimento utilizando uma suspensão polimérica que proporcione uma liberação lenta do nitrogênio presente na ureia.	A eficiência do recobrimento variou de 17 a 46 %, enquanto o crescimento das partículas ficou entre 0,8 e 4,4 %. O filme de recobrimento proporcionou uma diminuição das perdas por volatilização de nitrogênio, para todas as condições, em que o percentual de redução da volatilidade ficou entre de 11 e 50 %.
Recobrimento gastrorresistente de pellets de diclofenaco de sódio em leito fluidizado tipo Wurster	Albanez (2012)	Pellets de diclofenaco de sódio	Estudar o recobrimento de pellets de diclofenaco de sódio em leito fluidizado tipo Wurster com duas suspensões poliméricas aquosas comerciais entéricas – Advantia® Performance e Acryl-Eze® MP.	O recobrimento de pellets de diclofenaco de sódio, com os dois polímeros comerciais testados propiciou a obtenção de partículas revestidas sem formação de grandes aglomerados e com um ganho de massa de até 20 %.
Análise da fluidodinâmica de leito de jorro durante o recobrimento de partículas	Adeodato (2003)	Partículas de poliestireno, polipropileno, polietileno de baixa densidade, ABS®, placebo e esferas de vidro	Investigar a fluidodinâmica do leito de jorro convencional, para o recobrimento de várias partículas (poliestireno, polipropileno, polietileno de baixa densidade, ABS®, placebo e esferas de vidro), e analisar a influência das propriedades físicas das partículas e da suspensão de recobrimento na fluidodinâmica.	As partículas com um elevado ângulo de contato com a suspensão (PEBD, PS e PP) não apresentaram um recobrimento eficiente e sim apenas a secagem da suspensão. Para as demais partículas (ABS, Placebo e Esferas de vidro), obteve-se recobrimentos com eficiências na faixa de 40 a 90 %.

Fonte: Autora (2017)

### 3.5 Recobrimento de sementes

A tecnologia de tratamento ou melhoramento de sementes é um termo usado na literatura para descrever técnicas de beneficiamento de sementes realizadas após a colheita e antes do plantio. Essas técnicas de tratamento pós-colheita visam melhorar a germinação ou facilitar a distribuição de sementes e de outros materiais necessários para a semeadura, aumentar a produtividade e o valor das sementes (TAYLOR et al., 1998).

O recobrimento de sementes não é algo novo, sua primeira patente foi emitida em 1868, porém, comercialmente o interesse surgiu após 1940. Com os bons resultados que surgiram inicialmente, outras companhias interessaram-se pelo tema, e em 1946, formalizou-se a primeira patente mundial pela empresa CERES, com sementes de beterraba (GIMÉNEZ SAMPAIO; SAMPAIO, 1994).

Apesar do recobrimento já estar em uso há algum tempo, ainda é considerado uma tecnologia nova e pouco difundida. É uma técnica adaptada a partir de materiais desenvolvidos pela indústria farmacêutica que sugere muitas possibilidades para o uso de polímero no setor sementeiro, principalmente na interação com outros produtos, em mistura no tratamento de semente e proteção da semente para fatores bióticos e abióticos (BENATTO JÚNIOR, 2008).

Essa técnica vem sendo utilizada em hortaliças ornamentais e forrageiras que apresentam sementes de formas irregulares e pequenas a fim de incorporar produtos fitossanitários, hormônios, micronutrientes, agentes biológicos e polímeros propiciando um melhor desempenho de sementes e plântulas assim como aumentar o tamanho da semente, alterar sua forma e textura para facilitar a semeadura direta e protegê-la dos ataques externos (BAYS et al., 2007).

É uma tecnologia que vêm se firmando cada vez mais pois traz grandes vantagens ao agricultor como a aplicação conjunta de uma camada de fungicida, inseticida, micronutrientes e inoculantes à semente protegendo contra doenças e insetos. Melhora as condições de plantabilidade permitindo semeadura de precisão e estabelecimento de estande apropriado às condições de adaptação da cultivar. Também uniformiza o tamanho, peso e formato das sementes fornecendo condições de sobrevivência a cada uma das sementes, melhorando o microambiente onde ocorrerá a germinação e o desenvolvimento das plântulas (AVELAR, 2009).

O processo consiste na deposição de uma camada fina e uniforme de um polímero à superfície da semente que pode ser utilizada em conjunto com materiais protetores. Segundo a atual legislação brasileira, quando a semente for revestida contendo agrotóxico, nutriente, corante ou outro aditivo, além do material aglomerante denomina-se pelotização (quando obtêm-se unidades aproximadamente esféricas, normalmente contendo apenas uma única semente); granulação (quando forem obtidas unidades aproximadamente cilíndricas) e incrustação (quando forem obtidas unidades aproximadamente do mesmo formato que as sementes, porém com peso e tamanho modificados) (HÖLBIG, 2007).

A preocupação de diversos pesquisadores com relação ao revestimento de sementes é, basicamente, a falta de informação sobre a natureza dos adesivos e dos materiais de revestimento e, principalmente, da metodologia. A integridade física do revestimento é uma característica importante. A cobertura não deve se desmanchar ou quebrar. Para evitar a desintegração da camada de revestimento, são utilizados materiais adesivos que devem ser solúveis em água, ter afinidades com os demais ingredientes e não causar danos às sementes, já as partículas sólidas da formulação podem se agregar naturalmente por força de coesão ou cargas eletrostáticas (MENDONÇA, 2003).

Mendonça (2003) acredita que a utilização de quantidades menores de adesivo na formulação do revestimento seja favorável, visto que esses materiais são viscosos e dificultariam a drenagem da água retida nos poros. Já amidos e polímeros, podem promover a vedação dos poros do filme não permitindo trocas gasosas entre a semente e o meio. Alguns polímeros hidrofílicos podem absorver água até duas mil vezes o seu peso e, quando aplicados à semente, absorvem a água disponível ao redor do local de semeadura, formando um reservatório para a semente. Os materiais considerados ideais para serem utilizados no enchimento, devem ter grânulos esféricos e uniformes, não serem higroscópicos, corrosivos ou tóxicos, serem estéreis, insolúveis em água ou ácidos fracos, de fácil aquisição e baixo custo, assim como os produtos adesivos devem ter afinidade com os produtos usados no enchimento, serem solúveis em água e atuar em baixas concentrações.

A qualidade do recobrimento das sementes pode ser classificada quanto à porcentagem de área revestida pelo polímero segundo a tabela proposta por Burris (s.d.) e exemplificada na Figura 8.

Figura 8 - Escala para avaliar a qualidade do recobrimento



Fonte: Adaptada de Burris (s.d.)

Através da Figura 8 verifica-se a escala de avaliação visual da qualidade do recobrimento que varia de 0 (semente nua) a 10 (excelente recobrimento) sugerida por Burris (s.d.), verificando com base na uniformidade do recobrimento e a aparência das sementes.

A escolha do equipamento adequado a ser utilizado para a realização do recobrimento é muito importante, tanto que se ele não for apropriado para o tratamento de sementes da espécie em questão, poderá não haver uma boa uniformidade na distribuição do polímero, prejudicando o efeito esperado de recobrir toda a semente e de não agregar bem os produtos químicos utilizados. Além disso, poderá ocasionar danos mecânicos, os quais prejudicarão a qualidade das sementes (POLÍMEROS..., 2014).

O Quadro 3 apresenta alguns estudos sobre recobrimento de sementes. Verifica-se que inúmeras espécies, por algum motivo específico, utilizam a técnica de recobrimento para o beneficiamento de suas sementes. Porém, sempre com a preocupação de garantir a qualidade das mesmas.

Quadro 3 - Trabalhos envolvendo recobrimento de sementes

Título	Referência	Partículas	Objetivos	Principais resultados
Recobrimento de sementes de feijão ( <i>phaseolus vulgaris</i> l.) com pó-de-rocha granodiorito gnáissico	Bevilaqua et al., (2011)	Sementes de feijão	Desenvolver uma metodologia para efetuar o recobrimento de sementes com pó-de-rocha, verificando o efeito sobre o vigor das plântulas.	O recobrimento de sementes com calda adesiva de açúcar mascavo e água e o pó de granodiorito gnáissico foi viável para a manutenção da qualidade das sementes de feijão cv. BRS Exedito.
Recobrimento de sementes de cenoura osmocondicionadas	Hölbig et al., (2010)	Sementes de cenoura	Avaliar o desempenho fisiológico de sementes de cenoura após osmocondicionamento, tratamento com fungicida e recobrimento com polímero	Concluiu-se que o osmocondicionamento de sementes de cenoura favoreceu as velocidades de germinação e de emergência das plântulas; o uso de polímero e fungicida em sementes de cenoura osmocondicionadas não afetou negativamente o vigor das plântulas.
Tratamento e recobrimento de sementes de soja com polímeros líquido e em pó	Avelar (2009)	Sementes de soja	Avaliar a eficiência do recobrimento e a qualidade de sementes de soja tratadas com fungicida, inseticida, micronutrientes e polímeros líquido e em pó, durante seis meses de armazenamento.	Verificou-se que o polímero líquido foi mais eficiente no recobrimento de sementes de soja alterando o peso do hectolitro e não afetando a qualidade fisiológica. Já o polímero em pó apresentou efeito latente adverso após o armazenamento das sementes.
Recobrimento de sementes de arroz irrigado com ácido giberélico, fungicidas e polímero	Arsego et al., (2006)	Sementes de arroz	Avaliar o efeito do recobrimento de sementes de arroz, cultivar Arrank, sobre a qualidade de sementes e desempenho de plântulas.	Verificou-se que o polímero CF Clear proporcionou a obtenção de sementes recobertas e com boa aparência. As sementes recobertas com o fungicida carboxim + thiram apresentaram resultados superiores. A dosagem de AG <sub>3</sub> 0,50g.50kg-1 de sementes foi a que apresentou melhor desempenho de sementes e de plântulas.

Fonte: Autora (2017)

### 3.6 Leito de Jorro

Mathur; Epstein (1974) mencionam que o leito de jorro foi descoberto em 1954, por Mathur e Gishler (1954), quando estudavam a secagem de trigo em leito fluidizado. Alguns autores ainda classificam o leito de jorro como uma versão modificada do leito fluidizado, porém, este ponto de vista é debatido pois com a evolução verificou-se que o leito de jorro apresenta características diferenciadas que o tornam capaz de executar operações cíclicas úteis em partículas sólidas, que não podem ser executadas em um leito fluidizado que fornece movimento aleatório das partículas.

O leito de jorro tem sido aplicado em inúmeros processos como, por exemplo, aquecimento e arrefecimento de sólidos, limpeza de gases, gaseificação do carvão, pirólise de xisto, granulação, secagem e recobrimento de partículas (FREITAS; FREIRE, 2001). No entanto, tal técnica raramente é aplicada em processos industriais devido a dificuldades de escala (FALEIROS et al., 2014)

O sistema de leito de jorro consiste basicamente de uma coluna cilíndrica de base cônica e de um orifício na parte inferior central da base cônica para a entrada do fluido. Já as partículas sólidas devem apresentar um tamanho considerável,  $d_p > 1$  mm, uma vez que este tamanho de partícula está próximo do limite, no qual a efetividade do contato fluido-sólido em leito fluidizado é seriamente prejudicada pela passagem do fluido na forma de grandes bolhas (ADEODATO, 2003).

O leito de jorro convencional vem sofrendo alterações nos últimos anos. Com essas modificações surgiram equipamentos com características e comportamentos completamente distintos conforme mencionado por Conceição Filho (1997):

- leito de jorro cônico - constituído apenas por uma base cônica, esse leito tem como principal vantagem a capacidade de carga, ou seja, para uma mesma altura do leito é possível alimentar o equipamento com uma carga inicial maior do que aquela comparada com um leito convencional, onde o ângulo da base tronco-cônica é igual ao ângulo do leito cônico;
- leito de jorro com tubo interno (DTSB) - nesta variação há a inserção de um tubo concêntrico à parte cilíndrica do leito. Com a utilização desse artifício, consegue-se a melhora do comportamento fluidodinâmico, com o direcionamento do ar na região de jorro central, o que possibilita uma redução na queda de pressão máxima. Sua principal



vantagem é o aumento no tempo de residência das partículas bem como na homogeneização da circulação de partículas. Como desvantagens, destaca-se o comprometimento da permeação do ar na região anular e a diminuição das taxas de transferência de calor e massa nessa região, o que pode acarretar prejuízo às operações de secagem, por exemplo;

- leito de jorro diluído (JSB) - a característica que diferencia este grupo em relação ao convencional está no diâmetro de entrada do ar e no aumento da porosidade da região anular (acima de 85 %), além da diminuição do tempo de residência dos materiais, que pode ser uma vantagem adicional na secagem de pastas, por exemplo. Entretanto, na secagem de sistemas estruturados, o elevado grau de atrito interparticulado pode ser uma característica desfavorável na aplicação desse regime;
- leito de jorro bidimensional (2DSB) - leito composto de um prisma retangular com uma base de tronco de pirâmide, muito utilizado para o estudo da influência do ângulo da base como uma das variáveis do processo de recobrimento. A entrada do ar na forma de fenda permite que o ar de jorro penetre por toda a extensão da câmara permitindo que sua operação seja feita em leitos de grandes dimensões sem a ocorrência de elevadas perdas de carga, e
- leito vibro-jorrado (VFB) - a movimentação das partículas é aumentada pela agitação oriunda de um sistema mecânico de vibração localizado na base do leito. A aplicação da vibração na direção vertical é amplamente utilizada em processos de revestimento de partículas e granulação. Já a aplicação da vibração na direção horizontal pode ser benéfica em processos de secagem de medicamentos e alimentos em que algumas vezes não é necessário fluidizar as partículas, as quais apenas necessitam secar a velocidades superficiais do fluido menores do que a velocidade de mínima fluidização.

O Quadro 4 apresenta alguns autores que desenvolveram seus trabalhos utilizando variações disponíveis de leito de jorro.

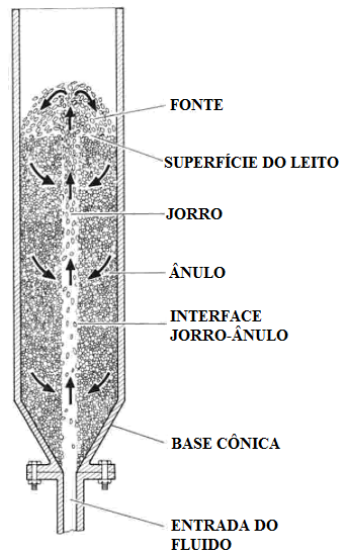
Quadro 4 - Trabalhos em que foram utilizadas variações do leito de jorro

Título	Referência	Objetivo	Equipamento
Análise do comportamento da fluidodinâmica do leito de jorro cônico com misturas de areia e casca de macadâmia	Libardi et al., (2015)	Estudar o comportamento fluidodinâmico do leito, avaliando o efeito da altura do leito estático e da mistura casca de macadâmia e areia em diferentes proporções na segregação e fluidodinâmica das partículas.	Leito de jorro cônico
Characterization and Modeling of Oxygen Transfer in a Spouted-Bed Reactor with Auxiliary Aeration	Zhao et al., (2006)	Estudar o efeito dos tubos no perfil de velocidade das partículas em leito de jorro DTSB.	Leito de jorro com tubo interno (DTSB)
Technical aspects of the production of dried extract of <i>Maytenus ilicifolia</i> leaves by jet spouted bed drying	Cordeiro; Oliveira (2005)	Avaliar o desempenho do leito diluído com partículas inertes para a produção de extratos e folhas secas de <i>Maytenus ilicifolia</i> .	Leito de jorro diluído (JSB)
Estudo da fluidodinâmica em um leito de jorro bidimensional com alimentação não convencional	Scatena et al., (2014)	Reproduzir através de simulação via CFD ( <i>Computational Fluid Dynamics</i> ) o escoamento no interior de um leito de jorro bidimensional não convencional.	Leito de jorro bidimensional (2DSB)
Cinética de cristalização de sacarose em cristalizador de leito vibrado	Quintino; Malagoni (2015)	Determinar a equação de cinética de crescimento de cristais de sacarose em um cristalizador batelada de leito vibrado	Leito vibro-jorado (VFB)

Fonte: Autora (2017)

O leito surge através de uma corrente ascendente de fluido que atravessa um leito de partículas sólidas na qual, em vazões suficientemente altas de fluido o mesmo provoca um padrão cíclico de movimento das partículas sólidas dando origem a um sistema hidrodinâmico único. Este sistema é denominado leito de jorro e é composto por três regiões distintas (Figura 9), sendo o núcleo central chamado de jorro, a zona periférica é chamada de anular e a fonte a zona em forma de cogumelo acima do nível do anel (MATHUR; EPSTEIN, 1974).

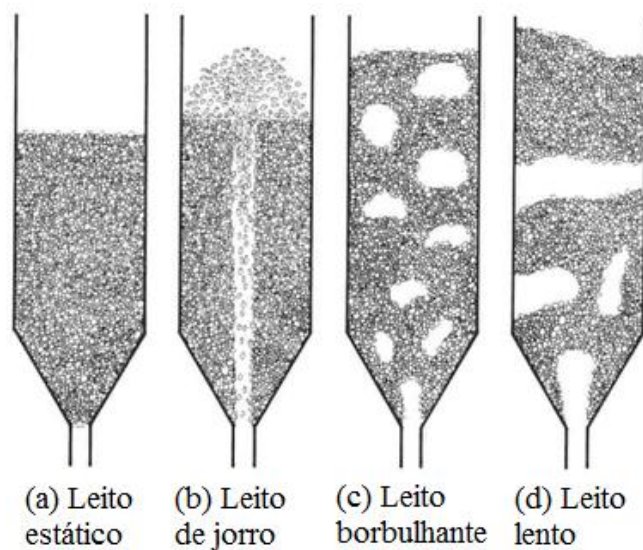
Figura 9 - Diagrama esquemático de um leito de jorro



Fonte: Adaptado de Mathur; Epstein (1974)

Jorro é um fenômeno que pode ser visualmente observado e que ocorre através da combinação de fluido, sólidos, e configuração do equipamento. No processo é possível observar diferentes fases de transição, representadas de forma quantitativa como parcelas de profundidade do leito em função da velocidade de fluido, visualizando desde o borbulhar até o jorro propriamente dito. A Figura 10 representa as diferentes fases de transição (MATHUR; EPSTEIN, 1974).

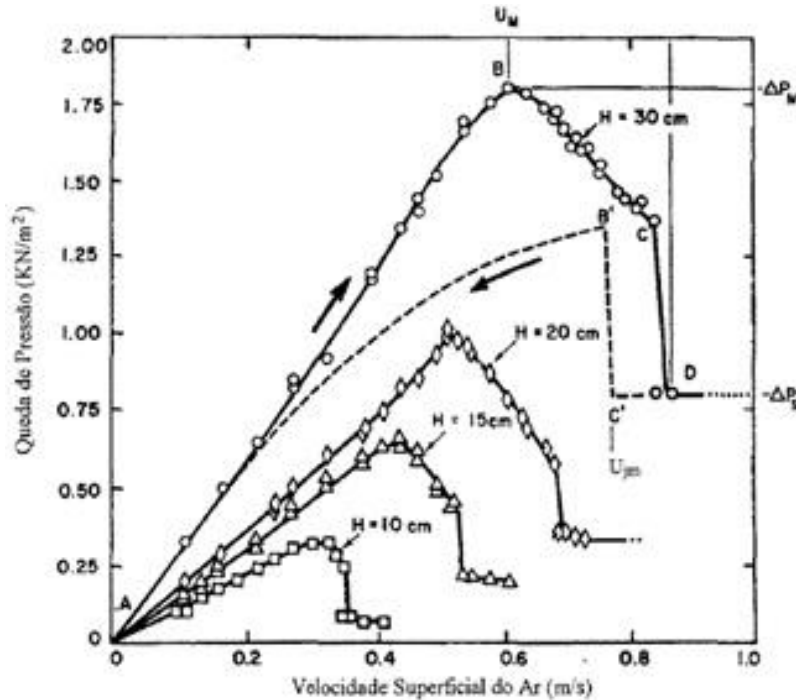
Figura 10 - Transição de fases devido ao aumento da velocidade do fluido



Fonte: Adaptado de Mathur; Epstein (1974)

O mecanismo de transição do leito estático para o leito de jorro é melhor descrito por meio de uma curva fluidodinâmica característica de queda de pressão do leito em função da velocidade superficial do fluido, como mostra a Figura 11.

Figura 11 - Curva típica fluidodinâmica



Fonte: Adaptado de Mathur; Epstein (1974)

A medida em que a vazão de fluido é aumentada, observa-se uma sequência de eventos característicos descritos a seguir:

- a baixas velocidades, o fluido passa sem perturbar as partículas do leito e a queda de pressão aumenta com a taxa de escoamento (sentido AB), como em um leito fixo de partículas;
- a uma determinada velocidade, o fluxo de ar torna-se suficientemente forte para empurrar as partículas, ocasionando a formação de uma cavidade na região central logo acima da entrada. Uma camada sólida compacta oferece grande resistência ao fluxo de fluido, acarretando uma maior queda de pressão;
- com o aumento da vazão do fluido, a cavidade central se alonga formando um jorro interno. A queda de pressão atinge um máximo ( $-\Delta P_M$ ) no ponto B. A velocidade superficial correspondente é chamada de  $U_M$ ;

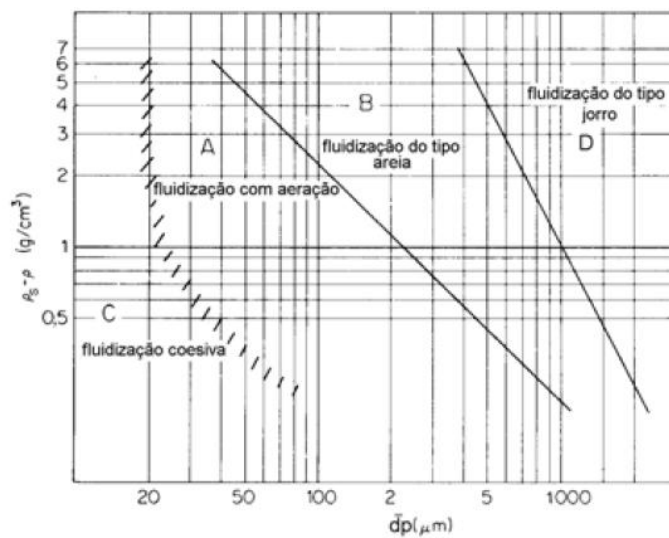
- com o aumento da taxa de escoamento além do ponto B, a altura da cavidade interna no jorro torna-se grande em comparação com a camada sólida compactada acima do jorro, sendo assim, a queda de pressão decresce ao longo de BC;
- aproximando-se do ponto C, um número suficiente de partículas sólidas é deslocado para o centro da cavidade causando uma expansão considerável do leito, resultando em um decréscimo na queda de pressão. Essa expansão é geralmente acompanhada pela expansão alternada de contração do jorro interno;
- com um rápido aumento na vazão do fluido após o ponto C, conhecido como ponto de jorro incipiente, a concentração de sólidos na região logo acima ao jorro interno decresce abruptamente, resultando em uma redução notável na queda de pressão até o ponto D, no qual o jorro interno rompe a superfície do leito. O ponto D representa o início do jorro, no qual o leito toma-se móvel e o jorro contínuo se instala;
- com mais um aumento na taxa de escoamento do fluido, o fluxo adicional simplesmente passa através da região do jorro, o qual se encontra estável com o patamar de mínima resistência, formando a fonte, que não fornece efeito significativo na queda de pressão. A queda de pressão ( $-\Delta P_s$ ) além do ponto D permanece praticamente constante. A instabilidade gerada pela ação de ruptura do jato através do leito faz com que a velocidade de jorro incipiente (C) e o princípio do jorro estável (D) não sejam exatamente reprodutíveis. Opta-se então pela utilização de uma variável mais reprodutível, a velocidade de jorro mínimo ( $U_{jm}$ ), que é obtida diminuindo-se lentamente a vazão de fluido. O leito permanece em estado de jorro até o ponto C', que representa a condição de mínimo jorro. Uma pequena redução na velocidade do fluido nesta condição provoca o colapso do jorro e a queda de pressão sobe repentinamente até o ponto B'. Diminuindo ainda a taxa de escoamento tem-se um decréscimo contínuo da queda de pressão ao longo de B'A. Os pontos B e D correspondem aos valores de queda de pressão de interesse prático para o projeto e a operação de uma unidade de leito de jorro. Estes correspondem, respectivamente, ao pico de queda de pressão ( $-\Delta P_M$ ) e à queda de pressão de operação no ponto de jorro estável ( $-\Delta P_s$ ).

A análise fluidodinâmica permite obter um modelo que descreva a perda de carga no leito de jorro conforme altera-se a vazão do ar. Segundo Fox; Pritchard; McDonald (2009), com

base em um balanço de energia, a perda de carga total considera a soma das perdas distribuídas (causadas por efeitos de atrito no escoamento completamente desenvolvido em tubos de seção constante) mais as perdas localizadas (entradas, acessórios, variações de área, entre outros). Como a perda de carga representa a energia mecânica convertida em energia térmica por efeitos de atrito, ela depende somente dos detalhes de escoamento através do duto independente da orientação do tubo.

O comportamento de sistemas fluidizados depende de várias propriedades das partículas sólidas como, por exemplo, diâmetro, massa específica, coesividade e fluidodinâmica do sistema (COSTA, 2010). Com isso, *Geldart* (1973) sugeriu a classificação de partículas sólidas, em quatro diferentes grupos, caracterizados pela diferença de massa específica entre o sólido e o fluido e o diâmetro médio da partícula. Na Figura 12 é apresentado o diagrama de *Geldart* para a classificação das partículas, em contato com fluido, nas condições ambientes.

Figura 12 - Diagrama de *Geldart* para classificação de partículas



Autor: Adaptado de *Geldart* (1973)

Observa-se, na Figura 12, os grupos formados de acordo com a classificação das partículas. Cada grupo pode ser descrito e exemplificado da seguinte maneira:

- grupo A - partículas deste grupo apresentam diâmetro médio pequeno (20-100  $\mu m$ ), baixa massa específica (menor que  $1,4 g/cm^3$ ) e possui uma grande faixa de fluidização entre a velocidade de mínima fluidização e a velocidade para iniciar as bolhas. Exemplo catalisador de craqueamento;

- grupo B - partículas deste grupo encontram-se na faixa de diâmetro e massa específica,  $40 \mu\text{m} < d_p < 500 \mu\text{m}$  e  $4 \text{ g/cm}^3 > \rho_s > 1,4 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente. Essas partículas fluidizam bem com vigorosa ação das bolhas e rápido crescimento das mesmas, que aparecem logo após a velocidade de mínima fluidização. Exemplo típico areia;
- grupo C - partículas com propriedades coesivas e de diâmetro pequeno, é extremamente difícil de fluidizar devido às forças interpartículas. Proporciona também baixa expansão do leito e apresenta pobre mistura dos sólidos. Exemplo farinha de trigo, e
- grupo D - as partículas têm diâmetro grande e/ou são muito densas; por isso na fluidização convencional deste tipo de partículas pode haver a formação de caminhos preferenciais. Desta forma, partículas deste grupo são mais adequadas ao leito de jorro. Exemplo grãos em geral.

### **3.7 Recobrimento de sementes em Leito de Jorro**

O recobrimento utilizando o leito de jorro se justifica, pois apresenta vantagens como a não formação de aglomerados de sementes, cobertura uniforme, mecânica do equipamento simples e sem partes móveis, no qual as sementes são simultaneamente cobertas e secas (POZITANO, 2011).

Este processo de recobrimento consiste na aplicação de ar aquecido no leito e, após se estabelecer o movimento fluidodinâmico, inicia-se a atomização da suspensão ou solução de recobrimento sobre as partículas. As gotas formadas na atomização entram em contato com a superfície que será recoberta, o solvente do recobrimento é evaporado e o material seco se deposita sobre a partícula (POZITANO, 2011).

O recobrimento por aspersão é um processo complexo que envolve três operações fundamentais: jorro, atomização e secagem conforme mostra o Quadro 5.

Quadro 5 - Parâmetros envolvidos no recobrimento de partículas por aspersão

Jorro	Atomização	Secagem
Vazão do ar de secagem; Posição do bico de aspersão (topo, base ou tangencial); Projeto do leito (aço, inoxidável, vidro, acrílico, entre outros.); Tamanho e massa específica da partícula; Carga de partículas; Material de recobrimento.	Vazão do ar de atomização; Vazão de líquido (suspensão ou solução); Projeto do bico (mistura interna ou externa); Viscosidade, tensão superficial e massa específica do líquido.	Temperatura do ar de entrada; Vazão do ar de secagem; Vazão de líquido (suspensão ou solução); Vazão do ar de atomização.

Fonte: Queiroz Filho (1997)

Observa-se que é um processo complexo que envolve várias etapas. Primeiramente determina-se as condições de trabalho do equipamento como dimensões e fluidodinâmica, logo a posição do bico atomizador é definida e então começa-se a caracterização das partículas a serem recobertas e determinação dos materiais da suspensão. A etapa de atomização envolve a definição do tipo de bico atomizador, da vazão do ar e da suspensão e a caracterização da suspensão de recobrimento. Por fim, adequadas as condições de atomização tem-se a etapa mais importante na qual, com vazão e temperatura do ar adequadas, ocorre o processo de secagem da suspensão e adesão a partícula formando assim a camada polimérica de recobrimento.

De acordo com Queiroz Filho (1997), nos processos de recobrimento em leito de jorro, a escolha da posição do atomizador em relação ao leito de sólidos assume um papel importante. O Quadro 6 mostra as especificações de cada posição.



Quadro 6 - Características da atomização dependendo da posição do atomizador

Topo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil acesso ao bico de atomização, facilitando a manutenção;</li> <li>- O ajuste da altura do atomizador em relação ao leito de partículas deve ser pensado de forma a evitar o arraste de gotículas pulverizadas, a modificação da fluidodinâmica e o entupimento do bico.</li> </ul>
Base	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nesse caso a faixa operacional de vazão de suspensão é menor que para as demais localizações, aumentando tempo de processo para um mesmo crescimento;</li> <li>- O jateamento que pode levar ao encharcamento e aglomeração das partículas, caso a vazão da solução ou movimento de jorro não sejam adequados;</li> <li>- O fato de ser indicado para operar com cargas moderadas de partículas;</li> <li>- A boa uniformidade do produto e excelente reprodutibilidade das características do filme;</li> <li>- A montagem lenta e mais complicada que no topo;</li> <li>- O difícil acesso ao bico atomizador;</li> <li>- A hidrodinâmica desfavorável para partículas pequenas.</li> </ul>
Parede	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Montagem simples;</li> <li>- Fácil acesso ao bico atomizador;</li> <li>- Excelente para recobrimento por película;</li> <li>- Recobrimento localizado em apenas uma região do equipamento;</li> <li>- A baixa homogeneidade do produto final;</li> <li>- A submissão do produto a elevadas tensões mecânicas.</li> </ul>

Fonte: Queiroz Filho (1997)

No Quadro 7 é possível verificar alguns autores que utilizaram a técnica de recobrimento de sementes em leito de jorro. Mais uma vez verifica-se que inúmeras espécies passam pelo processo de recobrimento, nesse caso especificamente, em leito de jorro. Cronologicamente é possível verificar que os estudos iniciais visavam apenas o estudo do processo. Com o passar do tempo verificou-se que é uma técnica promissora para a conservação, melhoria das características, controle da liberação de substâncias das sementes, entre outros. Este processo proporciona uma melhor adesão partícula – suspensão além da homogeneidade da camada formada. Porém, também preocupa-se que o processo não interfira na qualidade das sementes.

Quadro 7 - Trabalhos envolvendo recobrimento de sementes em leito de jorro

Título	Referência	Partículas	Objetivos	Principais resultados
Recobrimento de sementes de brócolos em leito de jorro e leito fluidizado	Almeida (2002)	Sementes de brócolos <i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>	Estudar o recobrimento de sementes de brócolos em leito de jorro e leito fluidizado, com a intenção de proporcionar proteção à alta concentração de vapor de água no ambiente, não prejudicando a absorção de água livre	Obteve-se as melhores eficiências do recobrimento, em leito de jorro utilizando-se o menor nível de pressão de atomização (15 psi), juntamente com o maior nível de vazão de suspensão (8 ml/min) e o menor nível de temperatura do ar de jorro (50°C) ou o menor nível de vazão de suspensão (6 ml/min) e o maior nível de temperatura do ar de jorro (70 °C)
Estudo sobre a viabilidade técnica do recobrimento de sementes de algodão em leito de jorro	Martins; Felipe; Alves (2006)	Sementes de algodão <i>Gossypium hirsutum</i>	Estudar a viabilidade técnica do recobrimento de sementes de algodão em leito de jorro através da fluidodinâmica	A formulação utilizada no recobrimento proporcionou uma excelente aderência do material à superfície das sementes. Verificou-se que o processo de recobrimento não prejudicou a qualidade física e fisiológica das sementes.
Avaliação do recobrimento contínuo em leito de jorro de grânulos de <i>phyllanthus niruri</i> l. por dissolução	Luna et al., (2007)	Grânulos de Quebra-pedra <i>Phyllanthus niruri</i>	Estudar e avaliar o processo de recobrimento de grânulos de quebra-pedra com suspensão polimérica de Eudragit L-30D-55	Verificou-se que o processo de revestimento em leito de jorro é uma alternativa viável para modificação do perfil de liberação de formas farmacêuticas granulares.
Caracterização e análise experimental do recobrimento de sementes de jambu ( <i>spilanthus oleracea</i> ) em leito fluidizado	Costa (2010)	Sementes de Jambu <i>Spilanthus oleracea</i>	Estudar o recobrimento de sementes de jambu em leito fluidizado.	Observou-se que as variáveis $W_s$ e $W_{ar}$ , dentro da faixa estudada, influenciaram nas respostas consideradas. Dentre as condições estabelecidas, o valor ótimo da função desejabilidade é quando $W_s$ foi fixado para o nível médio (6,4 mL/min) e $W_{ar}$ para o mínimo (0,89 kg/s), obtendo assim 45,1% para $\eta$ ; 26,7% para $\delta$ ; 82,4% para G e 46,5% para PE.

Conservação da viabilidade de sementes de <i>Senna macranthera</i> por meio de recobrimento	Pozitano (2011)	Sementes de Pau-fava <i>Senna macranthera</i>	Estudar o recobrimento de sementes florestais da espécie <i>Senna macranthera</i> em leite de jorro e analisar a qualidade fisiológica das sementes <i>in natura</i> e recobertas durante o armazenamento	Definiu-se uma vazão de suspensão de 2 mL/min, pressão de atomização de 2 psig, temperatura do ar de entrada de 70 °C e carga de sólidos de 450 g.
Análise experimental do comportamento fluidodinâmico e da secagem de sementes de linhaça <i>Linum usitatissimum</i> L.	Santana (2011)	Sementes de Linhaça <i>Linum usitatissimum</i> L.	Avaliar a fluidodinâmica das sementes de linhaça em leite de jorro a fim de obter velocidade de mínimo jorro, queda de pressão máxima, queda de pressão no jorro estável e queda de pressão no jorro mínimo.	Concluiu-se que os parâmetros de entrada (temperatura do gás e tempo de operação) exercem influência significativa sobre todas as variáveis resposta (razão de umidade, germinação e índice de velocidade de germinação).

Fonte: Autora (2017)

### 3.8 Planejamento Experimental

A fim de analisar os efeitos individuais e suas interações nas variáveis de respostas, avaliar erros experimentais, executar o menor número possível de experimentos e extrair do sistema o maior número de informações úteis foi necessário escolher um planejamento experimental, baseado em princípios estatísticos.

Para auxiliar na escolha do planejamento a ser utilizado o Quadro 8 mostra os planejamentos aplicados assim como, as respostas obtidas por alguns autores que trabalharam com recobrimento em leite de jorro.

Quadro 8 - Planejamentos referentes a estudos sobre recobrimento em leite de jorro e fluidizado

Trabalho	Planejamento	Objetivo	Variáveis	Conclusão
ALBANEZ (2012) Recobrimento gastrorresistente de pellets de diclofenaco de sódio em leite fluidizado tipo wurster	Fatorial 2 <sup>3</sup>	Avaliar e analisar o processo de recobrimento, quanto à eficiência e ocorrência de aglomeração	Independentes: temperatura do ar de entrada, vazão da suspensão e polímero de recobrimento. Dependentes: eficiência do processo e fração de aglomerados.	A combinação entre a menor temperatura, 55 °C, e a maior vazão da suspensão, 5,7 g/min favoreceu o aumento da eficiência (97,1 %).
ALMEIDA (2002) Recobrimento de sementes de brócolos em leite de jorro e fluidizado	Fatorial 2 <sup>3</sup> +4C	Executar de forma organizada um número controlado de experimentos e verificar os efeitos individuais e de interação de todas as variáveis sobre a resposta	Independentes: temperatura do ar, vazão da suspensão e pressão de atomização. Dependentes: eficiência do processo, crescimento de partículas e propriedades das sementes.	Os melhores resultados foram obtidos com a menor pressão de atomização (15 psi), juntamente com a maior vazão de suspensão (8 mL/min) e a menor temperatura do ar de jorro (50 °C) ou a menor vazão de suspensão (6 mL/min) e a maior temperatura do ar de jorro (70 °C). Nessas condições obteve-se a máxima eficiência de 80,94 % e crescimento 6,95%.
ROSA (2010) Recobrimento de ureia em leite de jorro para minimizar as perdas por volatilização	Estrela	Analisar a influência das condições operacionais na eficiência do processo e no crescimento da partícula.	Independentes: temperatura do ar, vazão da suspensão e pressão de atomização. Dependentes: eficiência do processo, crescimento de partículas.	Condição otimizada: temperatura de 74 °C, vazão da suspensão de 11 mL/min e pressão de atomização de 10 psig remetendo a uma eficiência de 72,5 % e um crescimento de 2,57 %.
SILVA (2003) Desenvolvimento do processo de recobrimento e secagem de microgrânulos em leite fluidizado	Fatorial 2 <sup>4</sup> +3C	Quantificar a influência das variáveis operacionais no recobrimento de partículas a fim de analisar numericamente a qualidade do ajuste do modelo de cada resposta.	Independentes: pressão de atomização, vazão de suspensão, temperatura do ar na entrada do leite e diâmetro de partícula. Dependentes: eficiência do processo, crescimento de partículas, índice de aglomeração e razão tempo de atomização/tempo de processo.	Considerou-se como faixa ótima de operação a pressão de atomização de 137,89 kPa; vazão da suspensão de 11,4 g/min; temperatura do ar de 70 °C e diâmetro da partícula de 0,269 mm. Obteve-se valores para eficiência e crescimento de 91,86 e 14,11 %, respectivamente.

Fonte: Autora (2017)

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sementes de cornichão (*Lotus corniculatus* L.) (Figura 13) cv. São Gabriel lote 2012 cedidas pela Embrapa Pecuária Sul. Os procedimentos experimentais foram realizados nos Laboratórios do curso de Engenharia Química da Unipampa campus Bagé e no Laboratório de Microscopia Eletrônica da Unipampa campus Alegrete. Também realizou-se análises no Laboratório de Análise de Sementes da Embrapa Pecuária Sul – CPPSul de Bagé-RS.

Figura 13 - Sementes de cornichão



Fonte: Autora (2017)

### 4.1 Montagem e instalação do leito de jorro

Para a realização deste trabalho foi adquirido um leito de jorro confeccionado na Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Primeiramente foi necessário montar e instalar o equipamento no local determinado. Após isso foram realizadas as adaptações necessárias a realidade na qual o equipamento seria utilizado, sendo assim, verificou-se as voltagens e correntes elétricas necessárias para seu funcionamento, inseriu-se um silenciador para melhores condições de trabalho, instalou-se um controlador de temperatura para acompanhar as temperaturas de processo, entrada e saída, adaptou-se manômetros ao sistema que após foram substituídos por transdutores e por fim realizou-se novas análises fluidodinâmicas a fim de identificar as condições operacionais do novo leito de jorro.

Foi necessário também desenvolver um suporte regulável para a utilização do bico atomizador durante o processo de recobrimento que pudesse ser aproveitado para inúmeros processos de acordo com as diferentes alturas necessárias.

## 4.2 Caracterização das sementes de cornichão

As sementes de cornichão foram caracterizadas quanto as propriedades físicas, fisiológicas e morfológicas a fim de verificar se elas se adequavam as exigências do processo de recobrimento.

Para as análises que necessitaram de pesagens foi utilizada uma balança analítica da marca PrLabor modelo AUY220 Shimadzu com capacidade até  $220 \pm 0,0001$  g.

### 4.2.1 Teor de umidade

O teor de umidade das sementes em base úmida ( $U_{b.u.}$ ) foi determinado através do método recomendado pela *Association of Official Analytical Chemists* - AOAC (1997) que consistiu em manter as amostras em estufa (Nova Ética e modelo 400-5 ND) a  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  por um período de 24 h e após realizar a pesagem da amostra seca em balança analítica. A análise foi realizada em tréplicas.

O cálculo do teor de umidade foi realizado através da Equação 1:

$$U_{b.u.} = 100 \cdot \left( \frac{m_{au} - m_{as}}{m_{au}} \right) \quad (1)$$

na qual  $U_{b.u.}$  é o teor de umidade em base úmida,  $m_{au}$  é a massa da amostra úmida e  $m_{as}$  é a massa da amostra seca.

### 4.2.2 Análise morfológica

Em um estereomicroscópio da marca Motic (Figura 14) com magnificação até 400 X, foram realizadas micrografias de sementes inteiras e cortadas longitudinalmente.

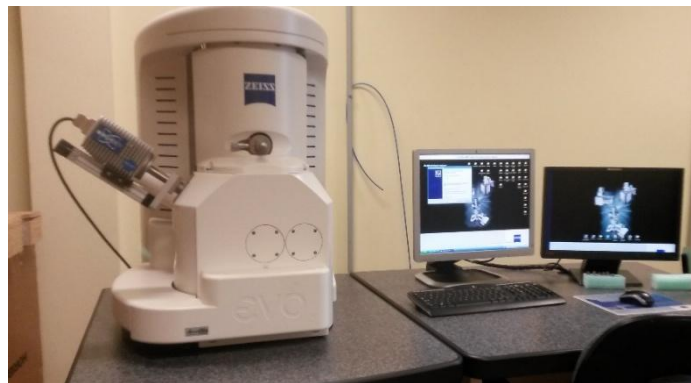
Figura 14 – Estereomicroscópio



Fonte: Autora (2017)

Em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) (Figura 15) da marca Zeiss foram realizadas as micrografias das sementes inteiras e cortadas longitudinalmente com ampliações de 100, 500 e 1000 X.

Figura 15 - Microscópio eletrônico de varredura



Fonte: Autora (2017)

#### 4.2.3 Análise granulométrica

Foram realizados três repetições com 300 g de sementes cada. Colocou-se as sementes sobre o conjunto de peneiras da marca Brozinox (Figura 16) utilizando peneiras padronizadas Tyler com *mesh* de 12 a 20. Agitou-se por um minuto conforme instruções contidas em Brasil (2009). A massa de sementes retidas em cada peneira foi quantificada através de balança analítica.

Figura 16 - Conjunto de peneiras



Fonte: Autora (2017)

O diâmetro médio de *Sauter* foi calculado através da Equação 2.

$$dp_s = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{d_i}} \quad (2)$$

na qual  $dp_s$  é o diâmetro médio de *Sauter*,  $x_i$  é a fração mássica retida em cada peneira e  $d_i$  é o diâmetro médio da abertura das peneiras passante e retida.

#### 4.2.4 Massa específica real

A massa específica real das sementes foi determinada de duas formas através de:

- picnometria gasosa - foi utilizado um picnômetro gasoso da marca *Quantachrome Instruments* (Figura 17) que utiliza gás hélio de pureza 6.0. O procedimento consistiu em inserir a amostra em uma câmara que posteriormente foi isolada até a pressão atmosférica e logo pressurizou-se com hélio. Pela relação entre a massa de sementes inseridas e o volume de hélio ocupado foi possível determinar a massa específica real das sementes de cornichão.
- picnometria líquida - primeiramente o picnômetro foi calibrado para a verificação do seu volume real. Logo, ele foi pesado vazio, adicionou-se as sementes até 1/3 do seu volume e então foi inserido o solvente hexano. Com a relação entre a massa e o volume



ocupados pelas sementes no picnômetro e fazendo-se uso da Equação 3 calculou-se a massa específica. O procedimento foi realizado em tréplica.

$$\rho_s = \frac{m_{sementes}}{V_{sementes}} \quad (3)$$

na qual  $\rho_s$  é a massa específica das sementes,  $m_{sementes}$  é a massa que 1/3 de sementes ocupou no picnômetro e  $V_{sementes}$  é o volume ocupado pelas sementes.

Figura 17 - Picnômetro gasoso



Fonte: Autora (2017)

Vale salientar que foram realizadas as duas análises a nível de comparação porém, a picnometria líquida é uma alternativa quando não se tem disponibilidade de picnometria gasosa.

#### 4.2.5 Massa específica bulk/aparente

A massa específica aparente foi determinada utilizando uma proveta com capacidade para 50 mL, em que foram adicionadas sementes até completar seu volume e então pesou-se a massa contida na proveta. Calculou-se a massa específica aparente também fazendo-se uso da Equação 3. O procedimento foi realizado em tréplica.

#### 4.2.6 Porosidade do leito

A porosidade do leito de sementes foi obtida através da relação entre os valores de massa específica real e massa específica aparente como mostra a Equação 4.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{aparente}}{\rho_{real}} \quad (4)$$

na qual  $\varepsilon$  é a porosidade do leito de partículas,  $\rho_{aparente}$  é a massa específica aparente obtida através do ensaio de proveta e  $\rho_{real}$  é a massa específica real obtida através da picnometria gasosa.

#### 4.2.7 Ângulo de repouso

A determinação do ângulo de repouso foi realizada a partir de um protótipo desenvolvido com uma célula de *Hele-Shaw*, construída a partir de uma caixa com duas lâminas de acrílico medindo 15 cm x 15 cm, distantes 2 cm entre si, um transferidor e um funil pequeno de plástico.

Para determinar o ângulo de repouso formado pelas partículas em queda foram despejados 100 g de cornichão no funil. As partículas foram alimentadas com velocidade constante formando uma inclinação suficiente para determinar o ângulo de repouso, como mostra a Figura 18. O procedimento foi realizado em tréplica.

Figura 18- Aparato para determinação do ângulo de repouso



Fonte: Autora (2017)

#### 4.2.8 Classificação de Geldart

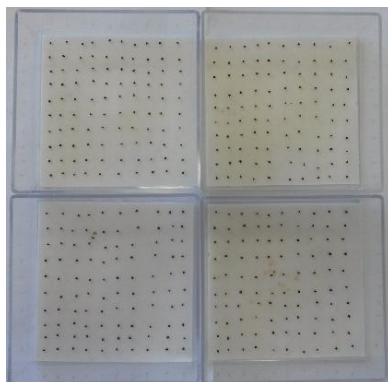
Utilizou-se o diagrama de *Geldart* para classificação de partículas sólidas, que relaciona a diferença entre massa específica do sólido e do fluido ( $\rho_s - \rho_f$ ), com o diâmetro médio da partícula, conforme já apresentado na Figura 12.

#### 4.2.9 Índice de germinação e vigor

Para a determinação do índice de germinação foi utilizada a metodologia recomendada em Brasil (2009). Foram utilizadas 400 sementes subdivididas em 4 repetições de 100 sementes cada. As sementes foram colocadas em caixa *gerbox* sobre papel de germinação umedecido com água destilada (2,5 vezes o peso do papel) (Figura 19). As amostras foram levadas a estufa germinadora, operando na temperatura de 20 °C por um período total de 12 dias, realizando-se contagens no 4° e 12° dia.

O vigor das sementes foi definido pela porcentagem de sementes germinadas na primeira contagem, ou seja, o número de plântulas germinadas no 4° dia.

Figura 19 - Análise de germinação

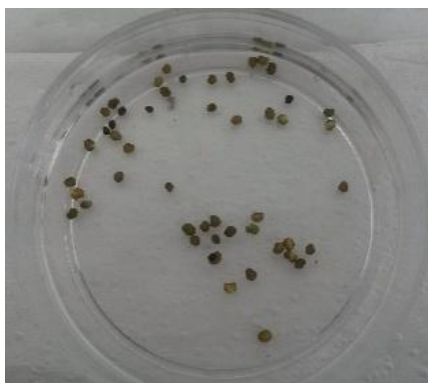


Fonte: Autora (2017)

#### 4.2.10 Curvas de embebição

As curvas de embebição (Figura 20) foram obtidas utilizando 200 sementes subdivididas em 4 repetições de 50 sementes por cada período de tempo. Em uma placa de *petri* pesou-se a massa de 50 sementes e adicionou-se 15 mL de água destilada deixando-as embebidas pelos períodos de 1, 2, 4, 6, 8, 24, 48, 72 e 96 h em estufa a 20 °C. Ao término de cada período, as sementes foram filtradas, o excesso de água da superfície foi removido com papel toalha e então foram pesadas novamente.

Figura 20 - Curvas de Embebição



Fonte: Autora (2017)

#### 4.2.11 Peso de mil sementes (PMS)

Foram utilizadas 800 sementes subdivididas em 8 repetições de 100 sementes cada conforme metodologia recomendada por Brasil (2009). As sementes foram contadas e pesadas em balança analítica. Foi realizada a média das repetições e o valor final multiplicado por 10 para determinação do PMS.

#### 4.2.12 Isotermas de Adsorção

A fim de determinar a umidade de equilíbrio das sementes de cornichão foi realizada a análise das isotermas de adsorção através do método gravimétrico estático. Tal procedimento visou avaliar as condições de armazenagem e mudanças nas características higroscópicas das sementes a fim de evitar a perda de lotes. Adicionou-se em torno de 1 g de massa de sementes em um cadinho e este foi inserido em um recipiente de vidro hermeticamente fechado, logo adicionou-se 50 mL da solução de ácido sulfúrico. Os experimentos foram conduzidos na temperatura de 25 °C a fim de remeter a temperatura próxima à ambiente na qual as sementes serão armazenadas após o beneficiamento. Foram empregadas soluções de ácido sulfúrico, com concentrações de 20 a 70 %, conforme pode ser observado na Tabela 1, a fim de garantir uma variação da umidade relativa do ambiente. As pesagens foram realizadas no 7°, 10° e 14° dia. Cada análise foi realizada em triplicata.

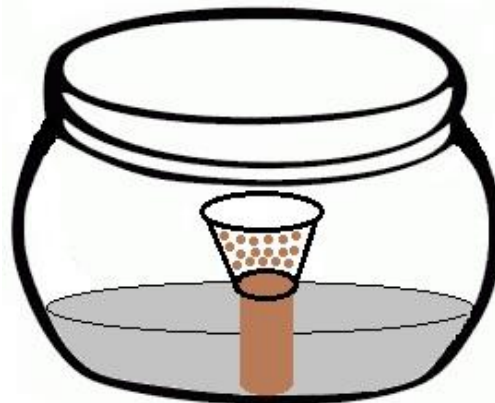
Tabela 1 – Concentrações de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> utilizadas

Concentração de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%)	UR
20	0,8675
25	0,8033
30	0,7391
35	0,6472
40	0,5554
45	0,4504
50	0,3453
55	0,2528
60	0,1603
65	0,1024
70	0,0444

Fonte: Autora (2017)

Um esquema experimental da análise pode ser observado na Figura 21.

Figura 21- Esquema empregado para determinação das isotermas de adsorção



Fonte: Autora (2017)

### 4.3 Elaboração e caracterização das suspensões e dos filmes poliméricos

Segundo estudos desenvolvidos por Adeodato (2003), Costa (2010), Costa (2015) e Rosa (2010) tratando do recobrimento de partículas em leito de jorro, foi possível verificar que trabalhar com suspensões de natureza polimérica fornecem a superfície um recobrimento uniforme e de baixo custo. Sendo assim, com base nos insumos utilizados pelas literaturas mencionadas anteriormente, foram desenvolvidas e testadas 8 diferentes formulações com o objetivo de obter um filme liso e uniforme, com concentração de sólidos adequada e que não prejudique a viabilidade e vigor das sementes.

A composição das formulações são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Formulações das suspensões utilizadas

Componente	Formulação (% p/p)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Água	70	75	75	85	84	84	84	84
Talco	5	-	5	9	9	-	9	9
Terra diatomácea	5	10	-	-	-	9	-	-
Goma arábica	5	-	10	-	-	-	-	-
Amido	5	5	5	0,5	1	1	1	1
Gelatina	5	5	-	0,5	1	1	1	1
Colorseed®	2	2	2	2	2	2	1,6	1
Forth Polímero Hidroretentor	-	-	-	-	-	-	0,4	-
Eudragit®	-	-	-	-	-	-	-	1
Glicerol	3	3	3	3	3	3	3	3

Fonte: Autora (2017)

Para obtenção das suspensões os insumos utilizados em cada formulação foram pesados e colocados em um béquer, onde ficaram em agitação mecânica com rotação de 530 rpm por 15 min conforme Figura 22.

Figura 22 - Elaboração das suspensões poliméricas

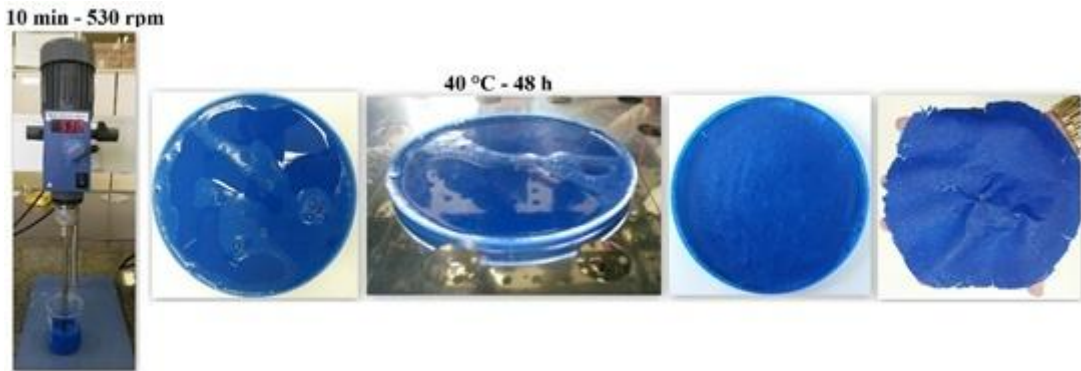


Fonte: Autora (2017)

Para auxiliar na escolha da formulação de recobrimento adequada foram preparados filmes, podendo assim avaliar a uniformidade e regularidade da película formada. Após a

preparação das suspensões, distribuiu-se a suspensão em placas de *petri* de acrílico de diâmetro igual a 15 cm, conforme Figura 23. Os filmes foram obtidos pelo método de *casting*, que consiste em acondicionar a amostra em estufa durante 48 h em temperatura de 40 °C.

Figura 23 - Metodologia de elaboração de filmes



Fonte: Autora (2017)

Terminado o tempo de acondicionamento, os filmes foram retirados da placa acrílica e caracterizados quanto à uniformidade e regularidade através de microscopia óptica.

Conforme Donida (2000), a concentração adequada para recobrimento utilizando atomização está na faixa de 10 a 15 % a fim de proporcionar uma camada polimérica adequada e evitar o entupimento do bico atomizador. Sendo assim, as suspensões foram caracterizadas com relação a concentração de sólidos através do método 920.151 da AOAC (1997), que consistiu em manter as amostras em estufa a 105 °C por 24 h. Para a determinação da concentração de sólidos da suspensão foi utilizada a Equação 5.

$$C_{sus} = \frac{m_{sólido\ seco}}{m_{sus\ total}} \quad (5)$$

na qual  $C_{sus}$  é a concentração dos sólidos,  $m_{sólido\ seco}$  é a massa de sólidos secos e  $m_{sus\ total}$  é a massa da suspensão total (sólidos secos + água).

A suspensão escolhida para ser utilizada nos ensaios de recobrimento foi caracterizada com relação a massa específica através de picnometria líquida, conforme metodologia anteriormente citada, sendo essa realizada em triplicatas. Para o cálculo da massa específica utilizou-se a Equação 6.

$$\rho_{sus} = \frac{m_{sus}}{V_{sus}} \quad (6)$$

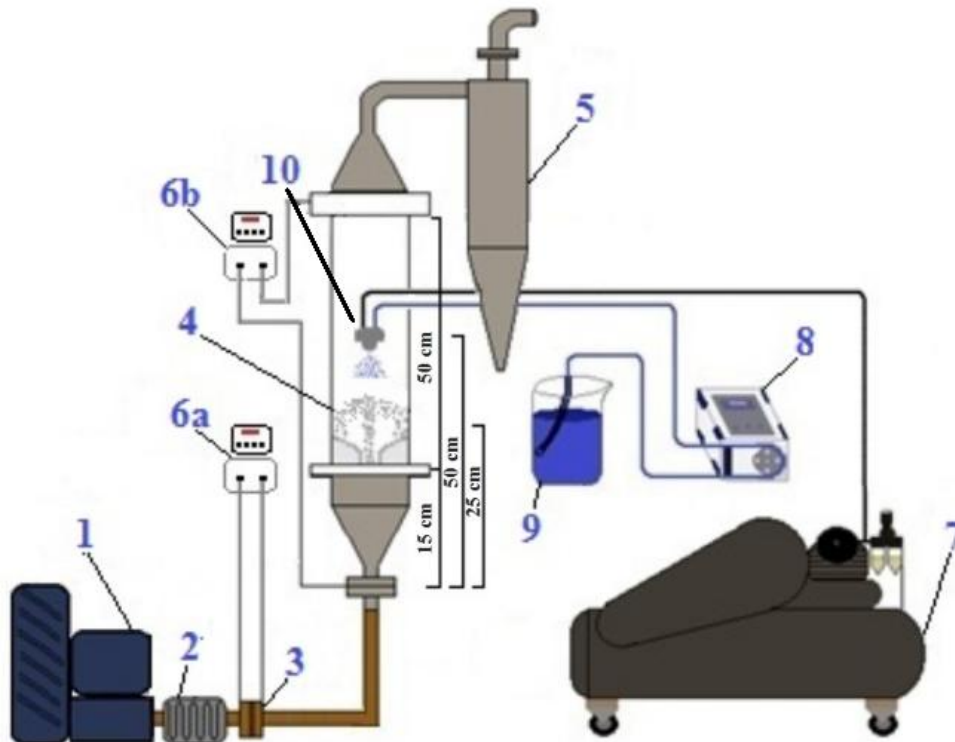
na qual  $\rho_{sus}$  é a massa específica da suspensão,  $m_{sus}$  é a massa de suspensão e  $V_{sus}$  é o volume ocupado pela suspensão.

As formulações que apresentaram valores dentro da faixa de concentração desejada e filmes homogêneos foram testadas no bico atomizador de duplo fluido, com a finalidade de verificar a estabilidade do sistema que compõe o equipamento de leito de jorro para os ensaios de recobrimento.

#### 4.4 Equipamento experimental

O sistema experimental utilizado pode ser observado na Figura 24.

Figura 24 - Representação do equipamento experimental utilizado



Fonte: Adaptado de Costa (2015)

Observa-se no sistema apresentado na Figura 24 que tem-se em:

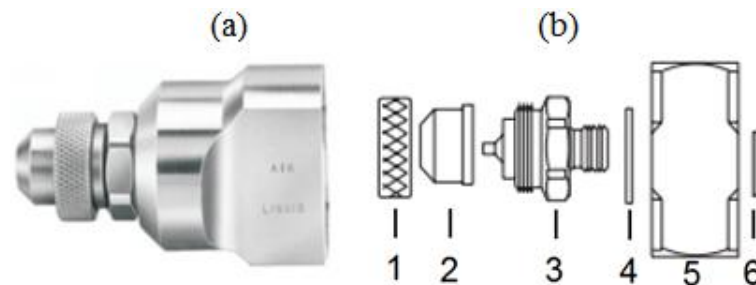
(1) um compressor centrífugo (ARTEK, Brasil) com potência de 7,5 Hp e vazão máxima de 6,2 m<sup>3</sup>/min que alimenta o fluxo de ar para o jorro; (2) um conjunto de resistências por onde o ar passa e é aquecido; (3) uma placa de orifício (orifício de 20 mm de diâmetro); (4) o leito de



jorro construído em aço inox, com 20 cm de diâmetro e 50 cm de altura e a base cônica do leito tem ângulo incluído de 60°, altura de 15 cm e diâmetro de entrada do ar de 5 cm; (5) um ciclone do tipo *Lapple* conectado na parte superior do leito de jorro para coletar particulados arrastados pelo ar; (6a) um transdutor de 2,5” de H<sub>2</sub>O com capacidade de 5 V conectado a placa de orifício; (6b) um transdutor de 10” de H<sub>2</sub>O com capacidade de 5 V conectado ao leito de partículas; (7) um compressor (BRAVO, Brasil) com potência de 5 Hp que fornece ar para o bico atomizador; (8) a suspensão polimérica de recobrimento; (9) uma bomba peristáltica (MARCONI, MA 2400/400, Brasil); (10) o bico atomizador de duplo fluido, que encontra-se no interior do cilindro, alimentado pelo ar comprimido (7) e pela suspensão polimérica de recobrimento (8).

Utilizou-se um bico atomizador de duplo fluido (SPRAYING SYSTEMS, ¼ BSPJBCSS, EUA). Este modelo possui linhas centrais de entrada do líquido e do ar, entrando na parte posterior do bico e nas paralelas ao eixo de projeção de pulverização. O líquido e o ar comprimido são misturados internamente para produzir a pulverização da suspensão. A Figura 25 (a e b) apresenta o bico atomizador utilizado no recobrimento.

Figura 25 - Esquema do bico atomizador utilizado no recobrimento (a) a ilustração do bico utilizado no recobrimento e (b) seu esquema de montagem.



Fonte: Costa (2015)

A Figura 26 apresenta o leito de jorro e os componentes utilizados para o processo de recobrimento.

Figura 26- Leito de jorro utilizado no experimento



Fonte: Autora (2017)

#### 4.5 Fluidodinâmica

Para o início do estudo fluidodinâmico das partículas em leito de jorro primeiramente foi realizado o ensaio “branco” para verificar a queda de pressão causada pelo equipamento. Conforme realizava-se o aumento e a diminuição gradativa da vazão do ar transdutores conectados a indicadores (Figura 27) efetuavam a leitura dos valores de voltagem para a placa de orifício e para o leito de partículas. Posteriormente esses valores foram convertidos em queda de pressão.

Figura 27 - Transdutores para determinar queda de pressão



Fonte: Autora (2017)

A avaliação da fluidodinâmica das partículas foi realizada para duas cargas mássicas (500 e 750 g), a fim de verificar qual a carga adequada para ser utilizada no processo de recobrimento de partículas. Para isso, alimentou-se o leito de jorro (Figura 26) com a quantidade definida de sementes e aumentou-se gradativamente a vazão de ar efetuando-se a leitura da voltagem da placa de orifício e do leito conforme procedimento realizado no branco.

Da mesma forma, realizou-se o procedimento decrescente reduzindo-se gradativamente a vazão de ar. Com esses dados foi possível elaborar as curvas típicas de fluidodinâmica (queda de pressão em função da velocidade do ar) e a partir destas foi possível escolher a carga mássica adequada para os ensaios de recobrimento.

A vazão do ar de jorro foi determinada utilizando-se a equação de calibração para a placa de orifício, conforme Equação 7 fornecida pelo fabricante do equipamento.

$$W_{ar} = 84,83 (\Delta h)^{0,4982} \quad (7)$$

na qual  $W_{ar}$  é a vazão do ar e  $\Delta h$  é a altura diferencial manométrica, em  $\text{mmH}_2\text{O}$ .

O valor da queda de pressão do equipamento foi descontado da queda de pressão total, obtendo-se somente a queda de pressão do leito de partículas, conforme Equação 8:

$$\Delta P_{leito\ de\ partículas} = \Delta P_{total} - \Delta P_{equipamento} \quad (8)$$

na qual  $\Delta P_{leito\ de\ partículas}$  é a queda de pressão do leito de partículas,  $\Delta P_{total}$  é a queda de pressão total do equipamento mais o leito de partículas e  $\Delta P_{equipamento}$  é a queda de pressão do equipamento obtida através do ensaio “branco”.

#### **4.6 Recobrimento em Leito de Jorro**

A fim de determinar as faixas operacionais de temperatura e vazão do ar de entrada, vazão da suspensão e tempo de atomização a serem utilizadas foram realizados testes preliminares de recobrimento em leito de jorro.

Os experimentos de recobrimento consistiram em alimentar o leito de jorro com a carga de sementes de cornichão de 500 g, previamente determinada pelos testes fluidodinâmicos. Regulou-se, no painel de controle, a vazão de alimentação do ar de jorro também com base em

testes fluidodinâmicos. O ar foi aquecido através da sua passagem pelo conjunto de resistências. Após a temperatura do ar de entrada atingir o valor desejado e com o jorro operando em regime permanente mantendo-se constante em 20 % acima da velocidade de jorro mínimo, iniciou-se à alimentação da suspensão de recobrimento utilizando o bico atomizador de duplo fluido conectado a bomba peristáltica, na vazão de suspensão estabelecida e a um compressor na pressão de atomização fixada em 0,5 kgf/cm<sup>2</sup>. O tempo de atomização da suspensão foi fixado em 20 min para todos os experimentos, após esse período interrompeu-se a atomização e deixou-se as partículas em estado de jorro por 5 min a fim de secar a camada polimérica formada. O aquecimento foi desabilitado e quando a temperatura atingiu 40 °C desligou-se o processo e, então, retirou-se as sementes do leito.

#### 4.6.1 Eficiência do Processo

A eficiência do processo de recobrimento foi definida como a razão entre o crescimento obtido experimentalmente e o crescimento teórico, ou seja, o máximo crescimento obtido considerando-se que toda a massa de sólido atomizada fosse aderida à superfície da partícula, não havendo perdas por arraste e também por adesão nas paredes do leito. A eficiência foi calculada com base no balanço de massa da Equação 9.

$$\eta = \frac{m_f - m_o}{W_s \rho_{sus} t C_{sus}} \quad (5)$$

na qual  $\eta$  é a eficiência do processo de recobrimento,  $m_f$  é a carga mássica final (sólidos secos) após o recobrimento,  $m_o$  é a carga mássica inicial (sólidos secos) adicionada ao leito de jorro,  $W_s$  é a vazão da suspensão de recobrimento,  $\rho_{sus}$  é a massa específica da suspensão,  $C_{sus}$  é a concentração de sólidos e  $t$  é o tempo de processo.

#### 4.6.2 Crescimento da Partícula

O crescimento da partícula ( $\delta$ ) é definido como a razão entre a massa do filme formado durante o recobrimento e a massa original da partícula. A partir do balanço de massa apresentado na Equação 10 foi possível calcular o crescimento das sementes.

$$\delta = \frac{m_f - m_o}{m_o} \quad (6)$$

#### 4.7 Planejamento Experimental

O planejamento experimental considerou como variáveis de entrada (ou independentes) a vazão da suspensão e a temperatura do ar. Como variáveis de saída (ou dependentes) foram consideradas a eficiência do processo, o crescimento das partículas e o PMS. Os parâmetros operacionais que se mantiveram constantes foram a pressão de atomização, o tempo de recobrimento e a massa das sementes, com base em resultados observados nos testes preliminares.

Inicialmente foi realizado um planejamento fatorial  $2^2$ , com duas repetições no ponto central totalizando 6 corridas experimentais. Esse planejamento teve como finalidade executar os experimentos de forma organizada e com um número controlado de ensaios, podendo assim verificar os efeitos individuais e a interação das variáveis sobre as respostas, sem que ocorresse o uso desnecessário de matéria prima. Após a realização do planejamento e análise dos resultados obtidos, verificou-se que nenhuma variável havia apresentado efeito sobre as respostas, mesmo que para uma confiança de 90 %. Sendo assim, foi realizado um planejamento composto central rotacional (DCCR), baseado nas premissas que o mesmo permite a obtenção de modelos de até segunda ordem, além de permitir a obtenção da superfície de resposta, e condição ótima do processo. O DCCR é constituído por três partes principais: cúbica (parte fatorial referente aos termos -1 e +1); axial (parte  $\alpha$  referente aos termos -1,41 e +1,41) e central (termo 0).

Com base nas variáveis independentes e dependentes do processo de recobrimento obteve-se a Tabela 3, na qual são apresentados os valores codificados e os originais para as variáveis do planejamento experimental DCCR, sendo que foram realizadas duas repetições no ponto central.

Tabela 3 - Valores codificados e originais para variáveis de planejamento

Variáveis originais (notação)	Variáveis codificadas	Unidades	Níveis				
			- 1,41	-1	0	+1	+ 1,41
Temperatura do ar	X <sub>1</sub>	°C	60,9	65	75	85	89,1
Vazão da suspensão	X <sub>2</sub>	mL/min	10,6	11	12	13	13,4

Fonte: Autora (2017)

Utilizou-se então, para esse processo temperaturas do ar na faixa de 60,9 a 89,1 °C e para a vazão de suspensão valores de 10,6 a 13,4 mL/min. Tais valores foram determinados com base em literaturas da área e também através de testes preliminares.

#### 4.8 Avaliação do Produto Final

Com o intuito de verificar se o processo de recobrimento atingiu o objetivo de aumentar a área superficial e manter a qualidade das sementes de cornichão permitindo assim usufruir de tecnologias agrícolas, o produto final, obtido a partir de cada experimento foi caracterizado.

##### 4.8.1 Caracterização das sementes de cornichão recobertas

A caracterização das sementes recobertas consistiu, primeiramente, na verificação do índice de germinação e do PMS para as amostras de todos os experimentos. Logo, realizou-se a análise morfológica, a picnometria gasosa e as isothermas de adsorção apenas para a condição que apresentou maior crescimento de partícula.

Todas as análises de caracterização foram realizadas conforme as metodologias anteriormente descritas para as sementes *in natura*.

##### 4.8.2 Estabelecimento a campo

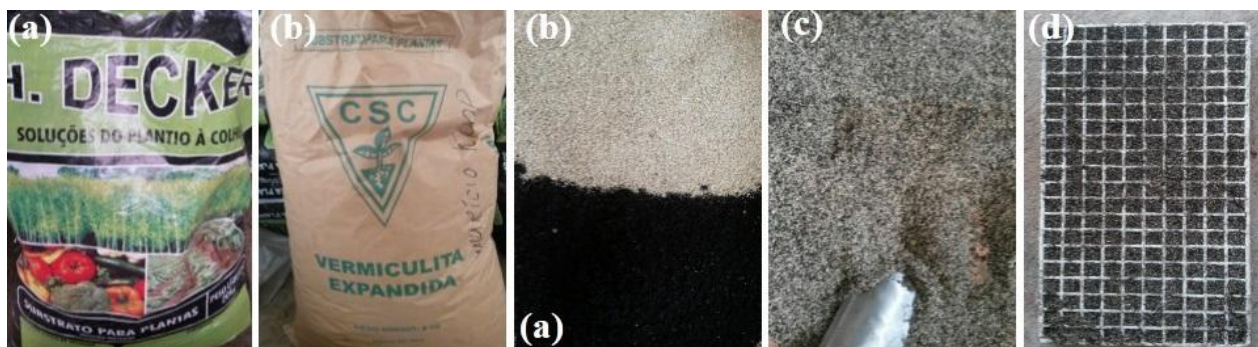
Foram realizadas análises a campo a fim de verificar o estabelecimento das sementes de cornichão e se o processo de recobrimento não afetou a qualidade das mesmas.

#### 4.8.2.1 Velocidade de Emergência em Casa de Vegetação

Para o estudo em casa de vegetação utilizou-se amostras de cada um dos experimentos de recobrimento além, da amostra *in natura* para nível de comparação. Foram utilizadas 100 sementes de cada condição. As amostras foram semeadas em casa de vegetação localizada na Embrapa Pecuária Sul de maneira uniforme e em condições controladas. As sementes foram semeadas em solo preparado com uma mistura de substrato e vermiculita na proporção de 2:1, respectivamente, conforme Figura 28. A Figura 29 mostra as placas na casa de vegetação com as sementes já semeadas.

Foram realizadas observações diárias até que ocorresse a emergência da primeira radícula e, então, foram realizadas contagens diárias, até um valor constante de plântulas. Também acompanhou-se semanalmente a altura das plântulas por um período de 2 meses.

Figura 28 - Insumos e materiais utilizados para semeadura em casa de vegetação (a) substrato; (b) vermiculita; (c) mistura de insumos 2:1; (d) placa de germinação com substratos



Fonte: Autora (2017)

Figura 29 - Semeadura em casa de vegetação



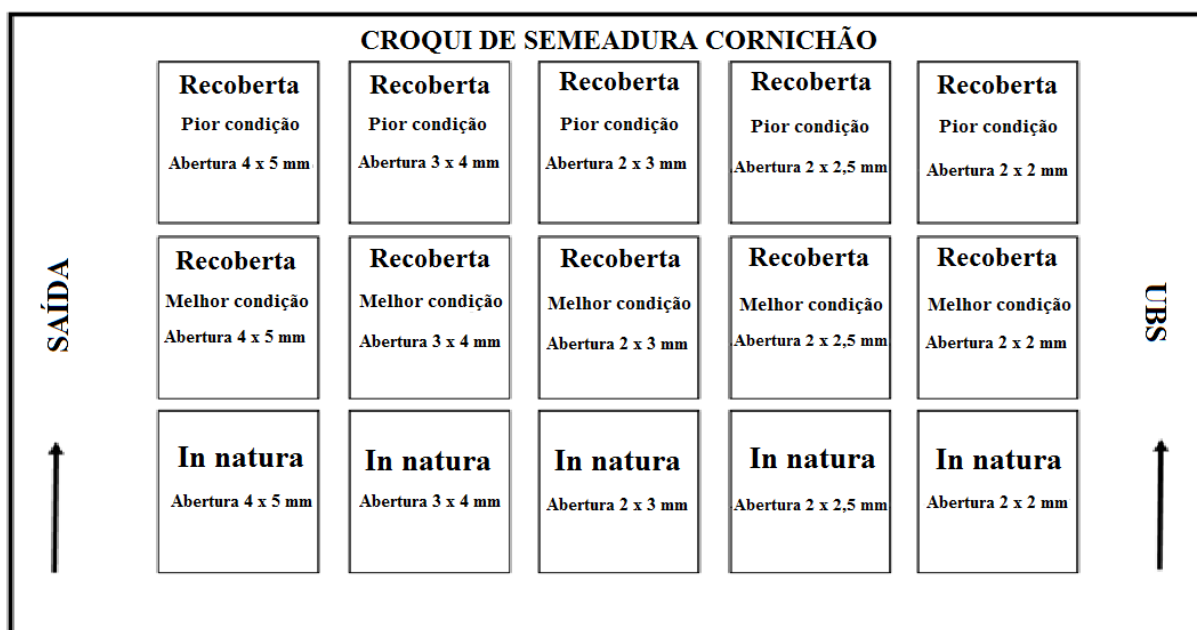
Fonte: Autora (2017)

#### 4.8.2.2 Velocidade de Emergência em Solo

Para o estudo em campo utilizou-se as amostras dos experimentos de recobrimento que apresentaram maior e menor crescimento de partícula além, da amostra *in natura* para nível de comparação. As sementes foram semeadas à campo em área cedida e localizada na Embrapa Pecuária Sul.

Segundo Fontaneli; Santos; Fontaneli (2012) a semeadura do cornichão deve ser de 8 kg.ha<sup>-1</sup>. Ajustando esse valor para uma área a ser semeada de 2 m x 1 m e corrigindo esse valor para uma germinação de 100 % de acordo com a germinação real de cada amostra obteve-se a densidade de semeadura correta para semear mecanicamente o experimento. O objetivo desse experimento foi verificar o impacto do processo de recobrimento na regulação do maquinário agrícola. O esquema de semeadura pode ser observado de acordo com o croqui apresentado na Figura 30.

Figura 30 - Croqui de semeadura das sementes de cornichão

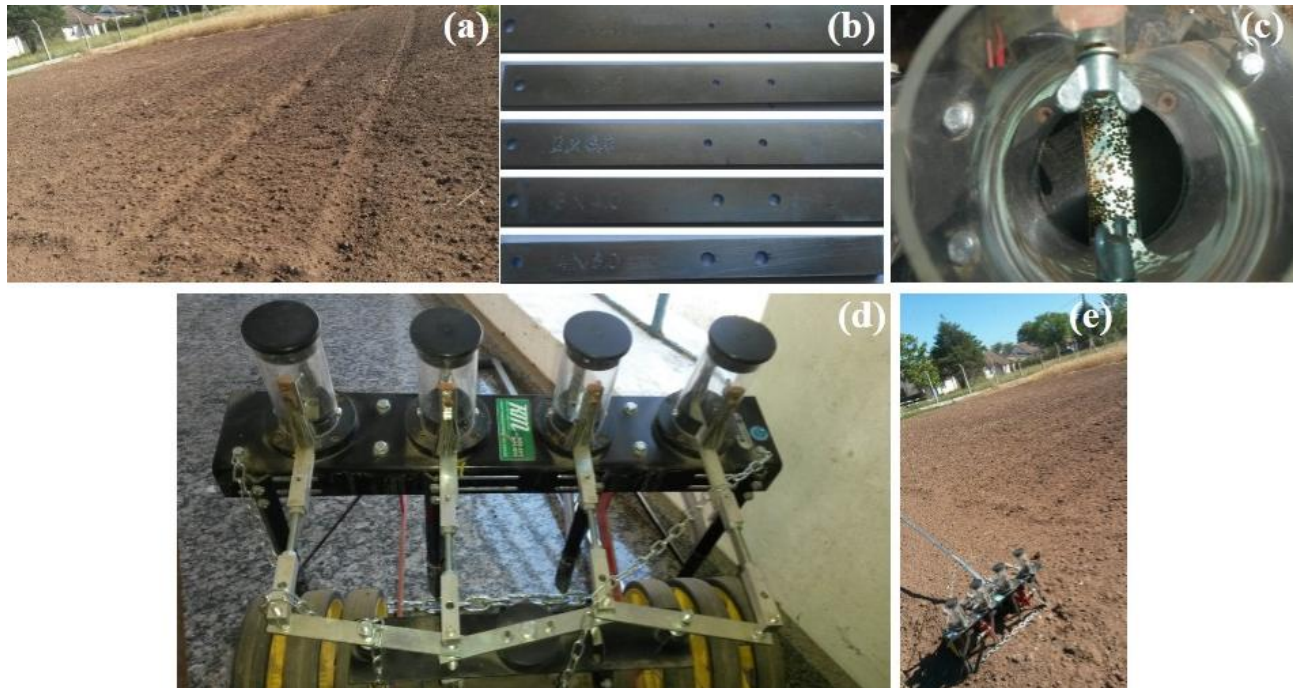


Fonte: Autora (2017)

As placas que regulam a abertura de escoamento das sementes, a máquina utilizada para semear e a área semeada são apresentadas na Figura 31.



Figura 31 - Materiais utilizados para semeadura a campo (a) área a ser semeada; (b) vista frontal das placas de regulação de vazão; (c) vista superior das placas; (d) maquinário agrícola utilizado; (e) área sendo semeada



Fonte: Autora (2017)

As placas consistem em 2 orifícios com espessura e diâmetro diferentes por onde escoam as sementes e serem semeadas. O objetivo dos diferentes diâmetros é fazer com que seja possível semear a quantidade desejada de sementes por área.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização das sementes de cornichão *in natura*

A Tabela 4 apresenta os resultados referentes a caracterização das sementes de cornichão *in natura*.

Tabela 4 - Valores referentes a caracterização das sementes.

Propriedades	Valor
Umidade (% b.u.)	$9,20 \pm 0,04$
$dp_s$ (mm)	$1,18 \pm 0,01$
$\rho_{realgasoso}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$1281,80 \pm 0,40$
$\rho_{realliquido}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$1284,20 \pm 2,72$
$\rho_{aparente}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$833,88 \pm 11,55$
$\varepsilon$ (-)	$0,35 \pm 0,01$
Ângulo de repouso( $\theta$ )	$45 \pm 1$
Germinação (%)	$62,5 \pm 8$
PMS (g)	$1,21 \pm 0,03$

Média  $\pm$  desvio médio

Fonte: Autora (2017)

Fazendo referência ao teor de umidade (b.u.), Brasil (2009) cita que sementes pequenas devem apresentar uma umidade média em torno de 12 %, estando portanto o valor encontrado próximo ao reportado. Kanaan (2014) encontrou uma umidade de  $10,00 \pm 0,06$ , valor esse também dentro na faixa reportada na literatura.

O valor de  $dp_s$  pode ser comparado com o valor encontrado por Kanaan (2014). O mesmo encontrou, para as sementes de cornichão um  $dp_s$  de  $1,37 \pm 0,01$ . Verifica-se que as sementes utilizadas neste trabalho são 14 % menores que as utilizadas por Kanaan (2014), sendo esse fato relacionado com a diferença entre lotes/safras.

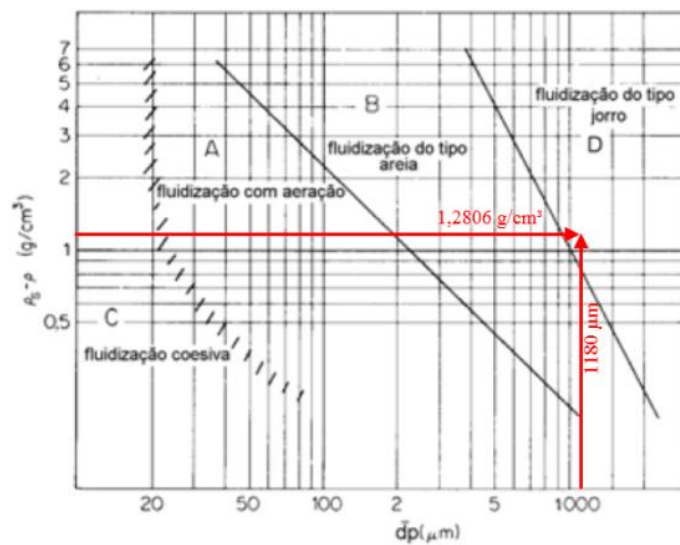
Pode-se observar através dos valores de picnometria líquida e gasosa que os resultados estão bem próximos (diferença inferior a 1 %) confirmando que os dois métodos experimentais são usuais para a determinação da massa específica real. Porém, deve-se salientar que a determinação por picnometria gasosa é mais precisa uma vez que o gás penetra melhor nos poros do produto, já a picnometria líquida é mais aconselhada quando o material é pouco ou não poroso. Comparando esse valor com o obtido através do ensaio de proveta, a massa

específica aparente é 35 % inferior a real. Tal resultado é justificado pois a massa específica real considera o volume ocupado por uma partícula, já a aparente considera o leito de partículas e assim os espaços vazios entre elas (poros). Observa-se que Kanaan (2014) obteve os valores de  $1363,66 \pm 0,67$  para massa específica real e  $858,28 \pm 5,30$  para massa específica aparente.

A porosidade do leito de partículas representa o volume de vazios do leito (volume de interstícios entre grãos e não o volume do poro do interior de uma partículas). Kanaan (2014) obteve um valor de  $0,37 \pm 0,01$  sendo esse bem próximo ao valor encontrado.

Através do diagrama de Geldart (1973) com os valores de massa específica do sólido ( $\rho_s$ ), massa específica do ar ( $\rho_{ar}$ ) e diâmetro de Sauter ( $d_{pS}$ ) pôde-se classificar as sementes de cornichão. Conforme a Figura 32 é possível afirmar que elas pertencem ao grupo D, correspondendo a fluidização do tipo jorro, demonstrando assim que estas podem ser empregadas com sucesso em processos que utilizam o leito de jorro.

Figura 32 - Classificação quanto a Geldart



Autor: Adaptado de Geldart (1973)

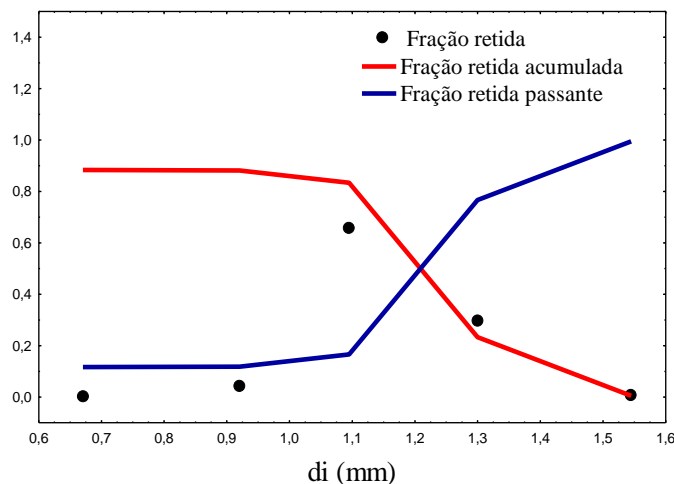
Os valores para ângulo de repouso determinam as condições de escoabilidade, transporte, armazenagem e a dinâmica de um equipamento. Nesse caso é um valor muito importante pois, de posse dele, pode-se projetar e regular maquinários agrícolas para a necessidade em questão. Através do valor do ângulo de repouso das sementes de cornichão as mesmas podem ser classificadas, segundo Woodcock; Mason, (1987), como um material de escoamento médio, visto que o resultado obtido encontra-se na faixa de valores entre  $38$  e  $45^\circ$  (boa fluidez) que caracteriza essa classificação para o escoamento do material.

O resultado referente a análise de germinação das sementes de cornichão indica que o potencial máximo germinativo desse lote está dentro do padrão. Segundo Brasil (1998), a mínima germinação para leguminosas é de 60 %. A partir da amostra submetida à análise de germinação verificou-se que 19 % são sementes duras (sementes com potencial germinativo porém, a dormência tegumentar impede sua embebição e assim sua germinação) e 37 % são sementes mortas. Analisando-se também os resultados da picnometria verifica-se a semelhança entre os valores obtidos pelas duas técnicas mostra que essa espécie é muito pouco porosa o que confirma a existência da dormência tegumentar. As sementes mortas podem ser justificadas uma vez que o lote sendo de 2012 não deve ter recebido beneficiamento e condições de armazenamento adequadas favorecendo o processo de degradação.

O PMS, segundo Brasil (2009), é utilizado para calcular a densidade de semeadura, o número de sementes por embalagem e o peso da amostra de trabalho para análise de pureza, quando não especificado nas Regras para Análise de Sementes (RAS), também fornece a ideia do tamanho das sementes, assim como de seu estado de maturidade e de sanidade. Fontaneli; Santos; Fontaneli (2012) mencionam que o PMS para as sementes de cornichão é em torno de 1,1 g, valor esse 10 % inferior ao encontrado.

A Figura 33 apresenta os resultados da análise granulométrica em que observam-se as curvas diferencial e acumuladas (retida e passante) para as sementes de cornichão.

Figura 33 - Distribuição granulométrica



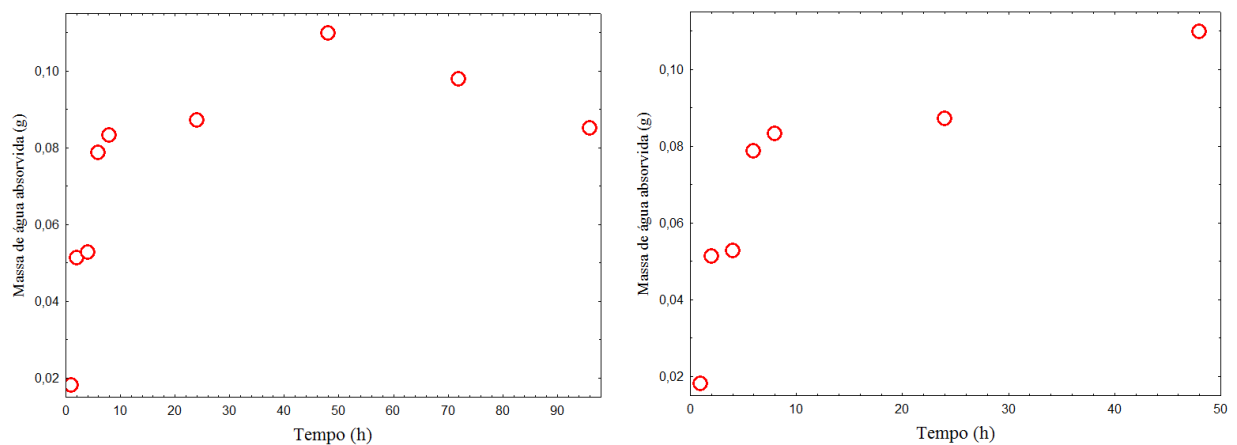
Fonte: Autora (2017)

Através da Figura 33 pode-se observar que as sementes de cornichão apresentaram um comportamento típico de distribuição granulométrica diferencial e acumulada. A curva

diferencial apresenta formato de curva de distribuição normal conforme mencionado por Foust et al. (2008). Aproximadamente 75 % das sementes de cornichão apresentaram um diâmetro de partícula de 1,1 mm.

A Figura 34 apresenta a curva de embebição para sementes de cornichão que demonstra a quantidade de água absorvida por um determinado período de tempo.

Figura 34 - Curva de embebição



Fonte: Autora (2017)

Observa-se que a curva encontrada remete à curva padrão de embebição conforme a Figura 4. Segundo Zimmer (2007), a embebição é um processo puramente físico que depende da ligação da água à matriz da semente. A primeira fase (compreendida entre 1 e 8 h) é a embebição propriamente dita, ocorre de forma rápida, devido à diferença de potencial de água, entre a semente e o substrato; na segunda fase (compreendida de 8 a 24 h) ocorre uma redução na velocidade de absorção e uma série de reações químicas; na terceira fase (compreendida de 24 a 48 h) o acréscimo de massa não se deve pela absorção de água e sim pelo início do processo germinativo das sementes. Após 48 h pode-se observar que ocorreu um decréscimo na massa de água absorvida pois verificou-se o início do processo de decomposição das sementes. Pode-se dizer então que a curva de embebição do cornichão se assemelha ao modelo trifásico, conforme padrão, com características semelhantes as curvas das oleaginosas pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) desenvolvidas por Smiderle; Lima; Paulino, 2013 e Cunha et al., 2010.

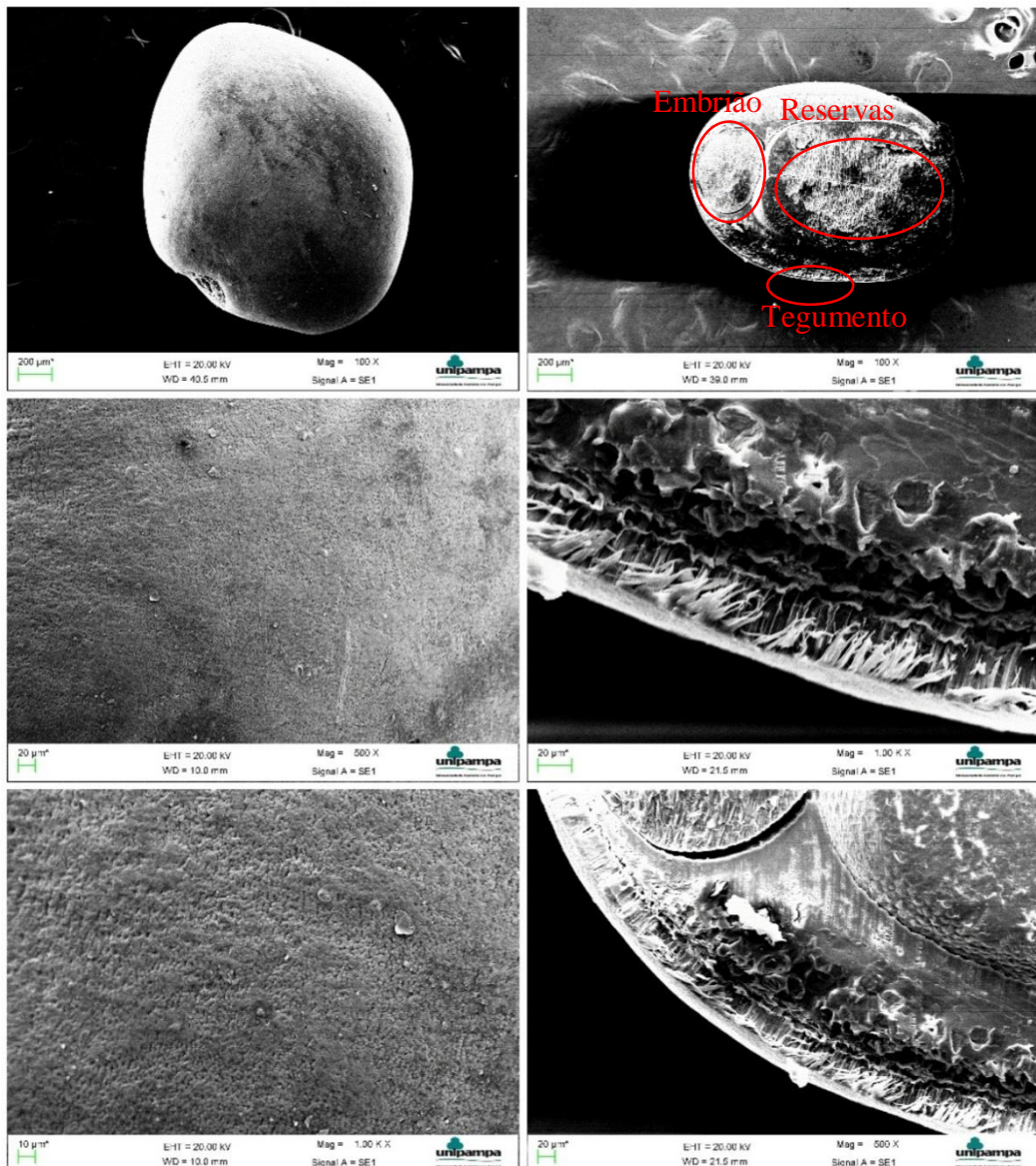
Quanto a morfologia, as sementes foram caracterizadas inteiras e cortadas longitudinalmente como mostram as Figuras 35 e 36.

Figura 35 - Morfologia das sementes *in natura* obtidas por estereomicroscópio



Fonte: Autora (2017)

Figura 36- Morfologia das sementes *in natura* obtidas por MEV



Fonte: Autora (2017)

Através das Figuras 35 e 36 foi possível observar a presença do embrião da semente, as substâncias de reservas mais comumente encontradas em sementes (carboidratos, lipídios e proteínas) e o tegumento. De acordo com Lima (2005), para leguminosas, como é o caso do cornichão, o amido representa entre 30 e 40 % do peso de massa seca.

Também foi possível observar a espessa camada de tegumento, responsável pela dormência tegumentar dessa espécie e uma superfície levemente rugosa e regular.

## 5.2 Elaboração e caracterização das suspensões e dos filmes poliméricos

As formulações utilizadas para o recobrimento das sementes foram analisadas quanto a concentração de sólidos e a Tabela 5 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 5 - Concentração de sólidos

Formulação	Concentração de sólidos $\pm$ desvio médio (%)
1	26,54 $\pm$ 0,274
2	21,33 $\pm$ 0,0409
3	20,30 $\pm$ 0,181
4	4,759 $\pm$ 2,30
5	11,86 $\pm$ 1,12
6	13,42 $\pm$ 1,09
7	12,08 $\pm$ 0,229
8	13,07 $\pm$ 3,27

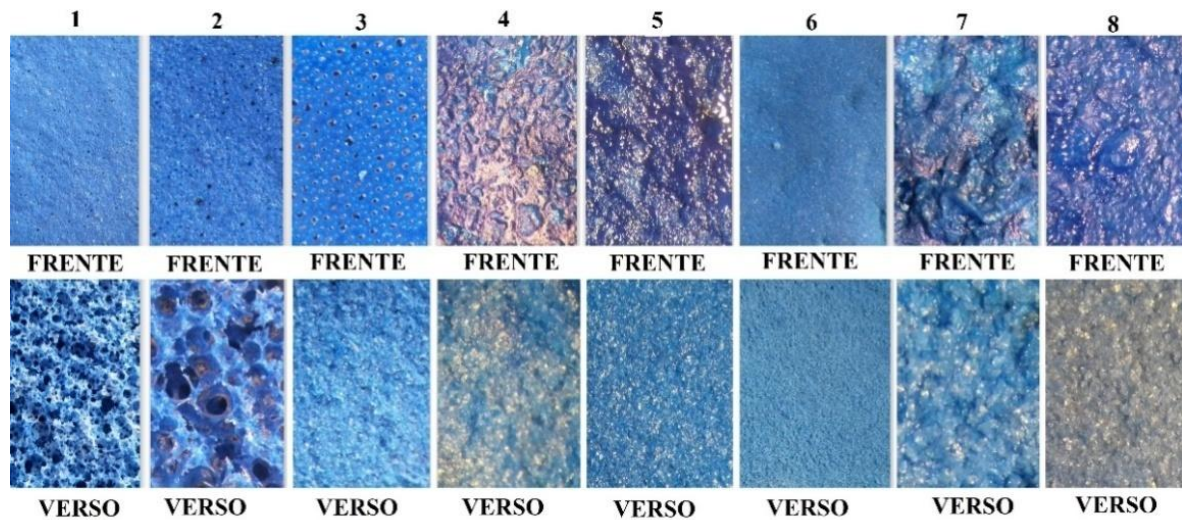
Média  $\pm$  desvio médio, n=3

Fonte: Autora (2017)

Donida (2000) sugere que as suspensões para recobrimento devem conter no máximo 15 % de sólidos. A dificuldade em utilizar valores superiores de sólidos é porque pode causar a limitação do bico atomizador devido ao entupimento. Já valores mais baixos podem não proporcionar a formação da camada polimérica adequada. Sendo assim, os filmes 5 a 8 se encaixam nesses valores, porém, somente essa informação não permite a determinação da suspensão mais adequada para o processo.

A análise dos filmes obtidos auxiliou na escolha da suspensão, através de observações quanto à uniformidade e regularidade da superfície. A Figura 37 mostra as micrografias dos filmes realizadas com magnificação de 250 X.

Figura 37 - Morfologia dos filmes observados em estereomicroscópio



Fonte: Autora (2017)

Como pode ser visto pelas micrografias apresentadas na Figura 37, os filmes 1 e 2 apresentaram-se bastante porosos, e também pode-se observar, ao retirá-los das placas, que os mesmos se mostraram quebradiços e esponjosos. Os filmes 3 e 6, visivelmente apresentam-se homogêneos e uniformes, porém, também se mostraram quebradiços ao serem retirados das placas. Já os filmes 4, 5, 7 e 8 apesar de um aspecto rugoso e irregular, resultaram em ótimos filmes, apresentando as características de filme polimérico e muito maleáveis.

Com base nas informações mencionadas anteriormente, o filme 5 foi escolhido para um teste preliminar de atomização. Nesse teste a suspensão passou pelo bico atomizador com o auxílio de uma bomba peristáltica e um compressor de ar. Foi possível verificar que a suspensão foi atomizada sem problemas, não ocorrendo o entupimento do bico. Portanto, a suspensão definida para ser utilizada nos ensaios de recobrimento foi a suspensão 5.

A suspensão escolhida para os ensaios de recobrimento foi caracterizada quanto à massa específica, sendo encontrado um valor de  $1063,30 \pm 7,06 \text{ kg/m}^3$ . Essa formulação foi baseada no trabalho desenvolvido por Costa (2015) no estudo do recobrimento de ureia em leito de jorro, no qual o autor encontrou uma massa específica de  $1059,75 \text{ kg/m}^3$ .

### 5.3 Estudo fluidodinâmico das sementes em leito de jorro

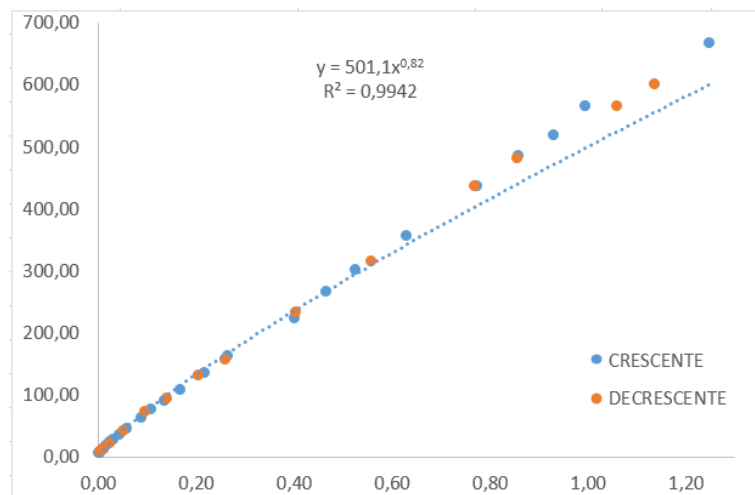
A utilização do leito de jorro para a realização deste trabalho, assim como, as sementes de cornichão levou-se em consideração os trabalhos de Almeida (2002) que recobriu sementes



de brócolos em leito de jorro e Pozitano (2011) que estudou a conservação da viabilidade de sementes de *Senna macranthera* por meio de recobrimento em leito de jorro; bem como o resultado da classificação de *Geldart* para as sementes de cornichão (grupo D).

Segundo Potter; Wiggert (2009) a perda de carga é diretamente proporcional ao quadrado da velocidade média de escoamentos laminares e turbulentos em dutos circulares. Sendo assim a função que se adequa melhor para descrever o processo fluidodinâmico é uma função potência. A curva do branco que originou o modelo matemático empregado que apresentou coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9942 é apresentada na Figura 38.

Figura 38 - Curva do branco

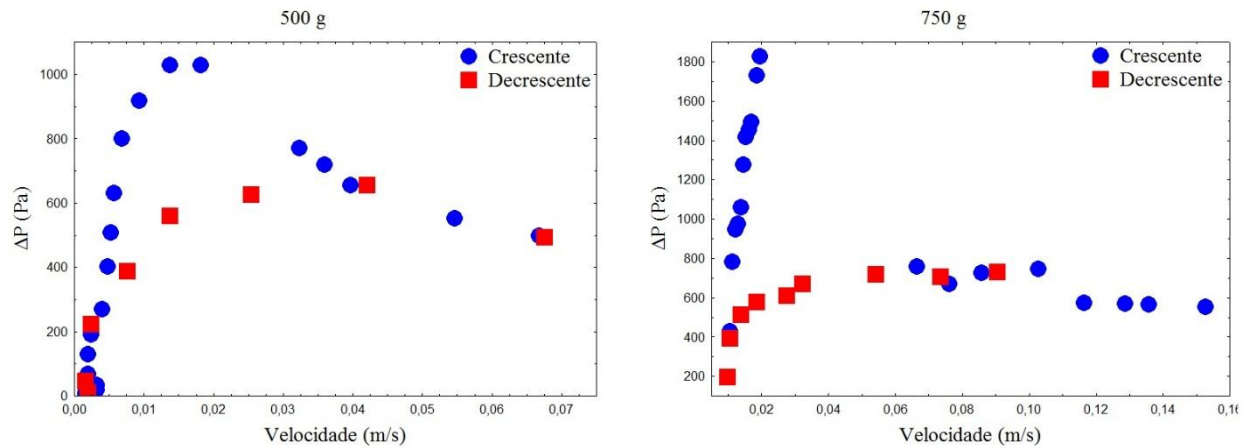


Fonte: Autora (2017)

O modelo potência também foi empregado por Almeida (2009) quando o mesmo estudou a secagem de pastas em leito de jorro. O autor encontrou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9981 para um expoente de 1,88.

A Figura 39 apresenta as curvas características de fluidodinâmica para as cargas mássicas de 500 e 750 g, respectivamente.

Figura 39 - Curvas fluidodinâmicas



Fonte: Autora (2017)

As curvas fluidodinâmicas obtidas apresentam perfis típicos aos da literatura, conforme mencionado na Figura 11.

As curvas fluidodinâmicas mostradas na Figura 39 têm como objetivo determinar a queda de pressão máxima, a queda de pressão de jorro estável, a queda de pressão na condição de jorro mínimo e a velocidade de jorro mínimo. Pode-se observar que ambas apresentam o mesmo comportamento, com um período de jorro estável, o que indica que as duas cargas mássicas testadas podem ser utilizadas nos futuros ensaios de recobrimento. Porém, devido a disponibilidade de matéria-prima e a necessidade de economizar insumo e minimizar o tempo do processo de recobrimento decidiu-se trabalhar com a carga de 500 g.

Os parâmetros fluidodinâmicos experimentais podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros fluidodinâmicos obtidos experimentalmente

Carga mássica (g)	$\Delta P_M$ (Pa)	$\Delta P_s$ (Pa)	$\Delta P_{jmin}$ (Pa)	$U_{jm}$ (m/s)
500	1029,40	493,5	655,4	0,04
750	1825,2	571	744	0,04

Fonte: Autora (2017)

A fim de suportar a carga extra proveniente da suspensão de recobrimento adicionada ao leite, a velocidade de operação para os ensaios de recobrimento foi fixa em 20 % acima da velocidade de jorro mínimo, com base nos estudos de Rosa (2010).

## 5.4 Ensaio de Recobrimento

Para a execução do planejamento experimental foram realizados 10 ensaios de recobrimento, tendo como respostas a eficiência do processo de recobrimento, o crescimento das partículas e o PMS. Os parâmetros utilizados e os valores obtidos experimentalmente estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros experimentais dos ensaios de recobrimento

Experimento	T <sub>ar</sub> (°C)	W <sub>s</sub> (mL/min)	Eficiência $\eta$ (% (b.s.))	Crescimento $\delta$ (% (b.s.))	PMS (g (b.s.))
1	-1	-1	22,29	1,1582	1,1417
2	-1	+1	08,75	0,5844	1,1839
3	+1	-1	06,16	0,3171	1,2734
4	+1	+1	14,61	0,9764	1,1759
5 (A)	-1,41	0	33,80	1,7506	1,5270
6 (A)	+1,41	0	08,48	0,4393	1,1000
7 (A)	0	-1,41	38,53	1,7627	1,1411
8 (A)	0	+1,41	50,36	2,9128	1,1118
9 (C)	0	0	17,41	1,5080	1,1575
10 (C)	0	0	20,40	1,3827	1,1055

Fonte: Autora (2017)

Para a eficiência do processo obteve-se faixas entre 6 a 50 %, já para crescimento das partículas obteve-se faixas entre 0,3 a 2,9. Almeida (2002) estudou o recobrimento de sementes de brócolis e obteve as faixas de 61 a 80 % para eficiência e 5 a 6 % para crescimento. Costa (2010) encontrou com sementes de jambu, eficiência na faixa de 21 a 48 % e crescimento na faixa de 13 a 27 %. Verifica-se que os valores encontrados para o crescimento não estão próximos aos remetidos pelas literaturas. Tal fato pode ser justificado pela diferença nas faixas de temperatura utilizadas, pela diferença nos materiais da suspensão, alguma outra condição do processo além das diferenças características entre as espécies.

O PMS apresentou valores entre 1,10 a 1,52 g. Não encontrou-se na literatura nenhum dado referente a análise do PMS para sementes de cornichão recobertas. Porém, com esses valores foi possível afirmar que houve um aumento no peso das sementes, o que confirma a utilização do processo de recobrimento. Conforme mencionado anteriormente nos resultados das sementes *in natura*, o valor de PMS foi 1,21 g.

O experimento que apresentou maior eficiência no processo e maior crescimento da partícula foi o que utilizou a temperatura do ponto central (75 °C) com a vazão de suspensão do ponto axial superior (13,4 mL/min), já o que proporcionou maior aumento do PMS foi o que utilizou a temperatura do ponto axial inferior (60,9 °C) com a vazão e suspensão do ponto central (12 mL/min). Porém, somente essas afirmações não são suficientes para garantir qual a melhor condição de trabalho.

A interpretação dos resultados obtidos foi realizada através de métodos estatísticos de acordo com o planejamento utilizado, visando encontrar as interações entre as variáveis, um modelo matemático que descreva o processo, as superfícies de resposta com base nas evidências experimentais. Os resultados do planejamento foram obtidos considerando uma confiança de 90 % e também considerando erro puro, da mesma forma que o estudo realizado por Silva (2003).

#### 5.4.1 Eficiência do Processo ( $\eta$ )

Através da análise estatística dos resultados obtidos, verificou-se a influência das condições operacionais do processo (variáveis independentes) na eficiência do processo de recobrimento. A Tabela 8 apresenta a influência dos efeitos principais e de suas interações para um limite de confiança de 90 % ( $p \leq 0,1$ ).

Tabela 8 - Efeito das variáveis independentes na eficiência do processo

Fator	Efeito	p
$T_{ar}$ (L)	<b>- 0,1152</b>	<b>0,0823</b>
$T_{ar}$ (Q)	-0,0768	0,1605
$W_s$ (L)	0,0291	0,3022
$W_s$ (Q)	<b>0,1562</b>	<b>0,0803</b>
$T_{ar}$ (L) x $W_s$ (L)	0,1100	0,1210

Fonte: Autora (2017)

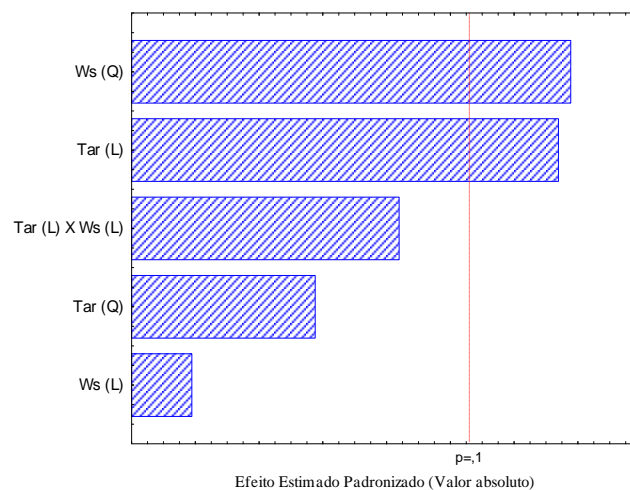
Conforme apresentado na Tabela 8 verifica-se que, para uma confiança de 90 %, apenas os efeitos  $T_{ar}$  (L) e  $W_s$  (Q) apresentaram efeito significativo para a resposta. Isto pode ser verificado através dos valores de p, que para uma confiança de 90 % devem ser menores que 0,1 para que o efeito seja significativo. A temperatura mostrou efeito negativo, o que significa

que a medida em que aumenta-se a temperatura, diminui-se a eficiência, enquanto que para a vazão quanto mais aumenta-se a vazão mais aumenta-se a eficiência.

Liu; Litster (1991), quando trabalharam em leito de jorro recoberto com 13 diferentes tipos de sementes com fertilizantes obtiveram maior eficiência ao utilizar baixa temperatura no leito e alta taxa de alimentação de suspensão, proporcionando maior umidade no interior do leito, desde que mantendo a operação em jorro estável.

A significância dos efeitos individuais e combinados das variáveis independentes sobre a resposta pode ser confirmada pelo diagrama de Pareto, conforme Figura 40, em que os efeitos que estão à direita do limiar de significância ( $p \leq 0,1$ ) apresentam efeito significativo. São eles  $T_{ar}(L)$  e  $W_s(Q)$ .

Figura 40 - Diagrama de Pareto para eficiência do processo



Fonte: Autora (2017)

Observa-se que o efeito quadrático da vazão foi o mais pronunciado para a eficiência do processo. Não observou-se a maior eficiência do processo para a maior vazão de suspensão, conforme o esperado, devido a influência da outra variável operacional.

A significância estatística do modelo foi verificada pela análise de variância (ANOVA) que permite testar a importância de um ou mais fatores comparando as médias das variáveis de resposta em diferentes níveis dos fatores. Também foi possível realizar o teste de Fisher, que serve para comparar todos os pares de médias e controla a taxa de erro ao nível de significância  $\alpha$  para cada comparação dois a dois a fim de prever se o processo permite gerar um modelo matemático.

A Tabela 9 apresenta os valores da análise estatística, considerando apenas para os fatores que apresentaram efeitos sobre a resposta.

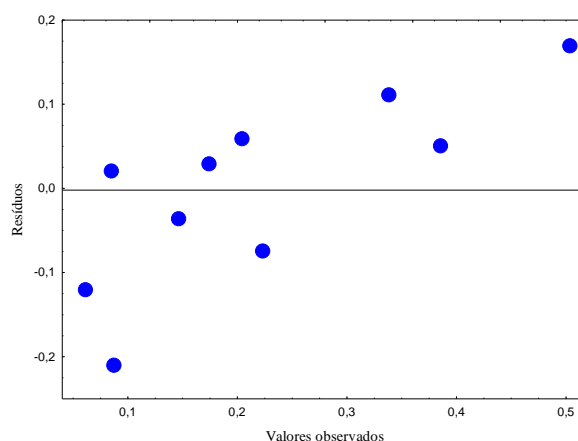
Tabela 9 - Análise estatística para a eficiência do processo

	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado}}$
Regressão	0,08	2	0,04	2,35	3,26
Resíduos	0,11	7	0,02		
Falta de ajuste	0,11	6	0,02	42,17	58,20
Erro puro	0,00	1	0,00		
Total SS	0,19	9			

Fonte: Autora (2017)

Foi obtido um coeficiente de determinação (percentual de variação explicada) de 40 % para a regressão do modelo, em relação ao valor máximo explicável de 99,8%. Com relação a regressão, para que a mesma seja significativa, verifica-se a relação  $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$  na qual o valor calculado deve ser maior que o valor tabelado, o que não foi observado anteriormente. Quanto a falta de ajuste, para a relação  $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ , o valor calculado deve ser menor que o valor tabelado, o que de fato ocorreu, mostrando que o mesmo não apresenta falta de ajuste. Uma alternativa que pode permitir afirmar se o modelo pode ser usado é a análise dos resíduos (Figura 41).

Figura 41 - Resíduos para a eficiência do processo



Fonte: Autora (2017)

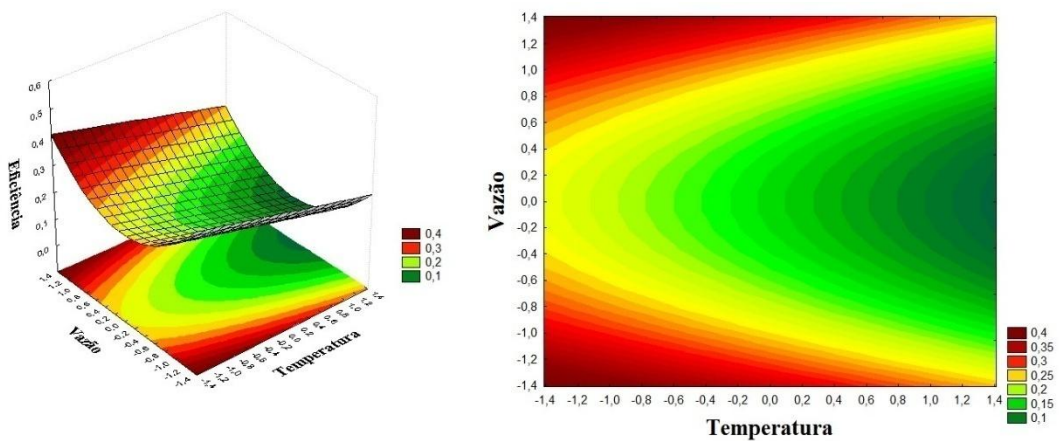
Nota-se através da que houve uma distribuição aleatória dos resíduos. Para Almeida (2002) e Rosa (2010) o que valida o modelo estatístico como preditivo é a ocorrência de distribuição aleatória nos resíduos.

O modelo polinomial de segunda ordem (Equação 11) foi obtido para estimar a eficiência do processo como uma função dos parâmetros estatisticamente significativos ( $p < 0,1$ ). Este modelo está na forma codificada, onde  $X_1$  e  $X_2$  correspondem, respectivamente, a temperatura do ar e a vazão da suspensão.

$$\eta = 0,1451 + 0,0946 X_2^2 - 0,0576 X_1 \quad (117)$$

As superfícies de respostas e curvas de contorno, obtidas a partir do modelo matemático de segunda ordem, para as diferentes variáveis independentes são apresentadas na Figura 42.

Figura 42 - Superfície de resposta e curvas de contorno para eficiência do processo



Fonte: Autora (2017)

Observando a Figura 42 pode-se verificar que a região que maximiza a eficiência do processo de recobrimento é para uma faixa de vazão próxima as extremidades dos pontos axiais para temperaturas próximas ao ponto axial inferior.

#### 5.4.2 Crescimento das partículas ( $\delta$ )

Da mesma forma que na eficiência do processo, verificou-se a influência das condições operacionais do processo (variáveis independentes) no crescimento das partículas. A Tabela 10

apresenta a influência dos efeitos principais e de suas interações para um limite de confiança de 90 % ( $p \leq 0,1$ ).

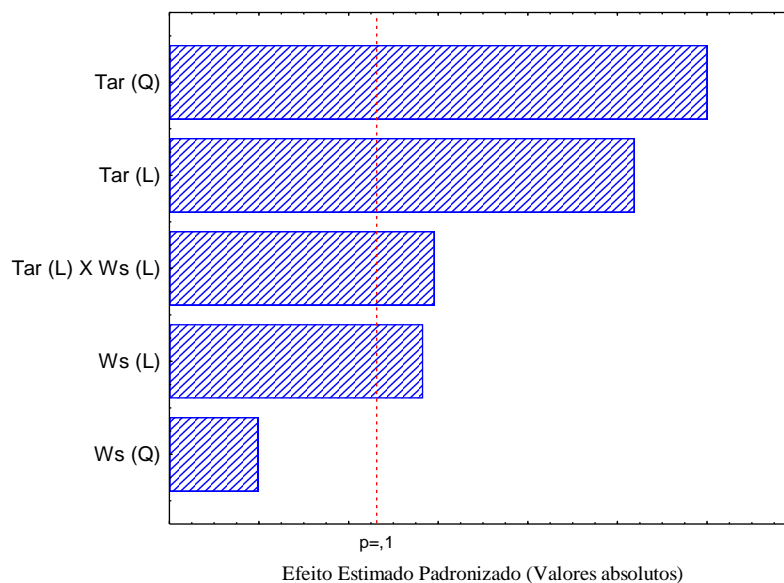
Tabela 10 - Efeito das variáveis independentes sobre o crescimento das partículas

Fator	Efeito	p
T <sub>ar</sub> (L)	<b>-0,575894</b>	<b>0,068981</b>
T <sub>ar</sub> (Q)	<b>-0,829083</b>	<b>0,063424</b>
W <sub>s</sub> (L)	<b>0,427993</b>	<b>0,092526</b>
W <sub>s</sub> (Q)	0,413791	0,125836
T <sub>ar</sub> (L) x W <sub>s</sub> (L)	<b>0,616613</b>	<b>0,090848</b>

Fonte: Autora (2017)

Verifica-se, com base na Tabela 10, que T<sub>ar</sub> (L), T<sub>ar</sub> (Q), W<sub>s</sub> (L) e T<sub>ar</sub> (L) x W<sub>s</sub> (L) apresentaram efeito significativo sobre o crescimento das partículas. Salienta-se novamente o efeito negativo para T<sub>ar</sub>(L) e T<sub>ar</sub> (Q), indicando que a medida em que aumenta-se a temperatura, diminui-se o crescimento das partículas. E a medida que aumenta-se a vazão o valor do crescimento das partículas aumenta. A significância dos efeitos individuais e combinados das variáveis independentes pode ser confirmada pelo diagrama de Pareto, conforme Figura 43, em que os efeitos significativos à direita do limiar de significância ( $p \leq 0,1$ ).

Figura 43 - Diagrama de Pareto para o crescimento das partículas



Fonte: Autora (2017)



A significância estatística do modelo foi verificada pela análise de variância (ANOVA) e o teste de Fisher comparou todos os pares de médias para predizer se o processo permite gerar um modelo matemático. A Tabela 11 apresenta os valores da análise estatística apenas para os fatores que apresentaram efeitos sobre a resposta.

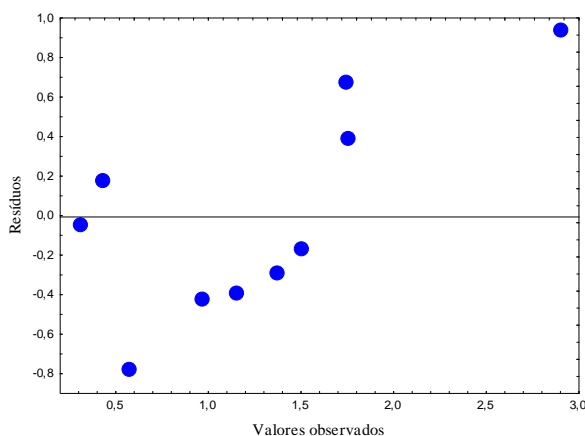
Tabela 11 - Análise estatística para o crescimento das partículas

	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	2,83	4	0,71	1,37	3,52
Resíduos	2,58	5	0,52		
Falta de ajuste	2,57	4	0,64	81,93	55,83
Erro puro	0,01	1	0,01		
Total SS	5,41	9			

Fonte: Autora (2017)

Foi obtido um coeficiente de determinação (percentual de variação explicada) de 52 % para a regressão do modelo, em relação ao valor máximo explicável de 99,8%. Através da tabela observa-se que o modelo não passou nos testes, sendo a regressão não significativa e apresentando falta de ajuste. Novamente, a alternativa que pode permitir afirmar se o modelo pode ser usado é a análise dos resíduos (Figura 44).

Figura 44 - Resíduos para o crescimento das partículas



Fonte: Autora (2017)

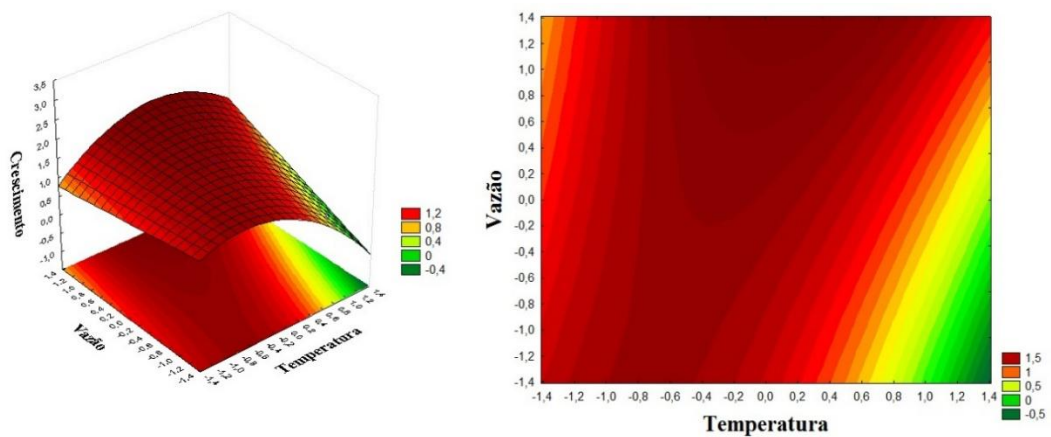
Através da Figura 44 pode-se observar que houve uma distribuição aleatória dos resíduos.

O modelo polinomial de segunda ordem (Equação 12) foi obtido para estimar o crescimento das partículas como uma função dos parâmetros estatisticamente significativos ( $p < 0,1$ ). Este modelo está na forma codificada, onde  $X_1$  e  $X_2$  correspondem, respectivamente, à temperatura do ar e vazão da suspensão.

$$\delta = 1,6818 - 0,5032 X_1^2 - 0,2879 X_1 + 0,214 X_2 + 0,3083 X_1 X_2 \quad (12)$$

As superfícies de respostas e curvas de contorno, obtidas a partir do modelo matemático de segunda ordem, na forma codificada, para as diferentes variáveis independentes são apresentadas na Figura 45.

Figura 45 - Superfície de resposta e curvas de contorno para crescimento das partículas



Fonte: Autora (2017)

Observando a Figura 45 pode-se verificar que a região que maximiza o crescimento das partículas é próxima ao ponto central.

### 5.4.3 PMS

A Tabela 12 apresenta a influência dos efeitos principais e de suas interações para um limite de confiança de 90 % ( $p \leq 0,1$ ) para o PMS.

Tabela 12 - Efeito das variáveis independentes sobre o PMS

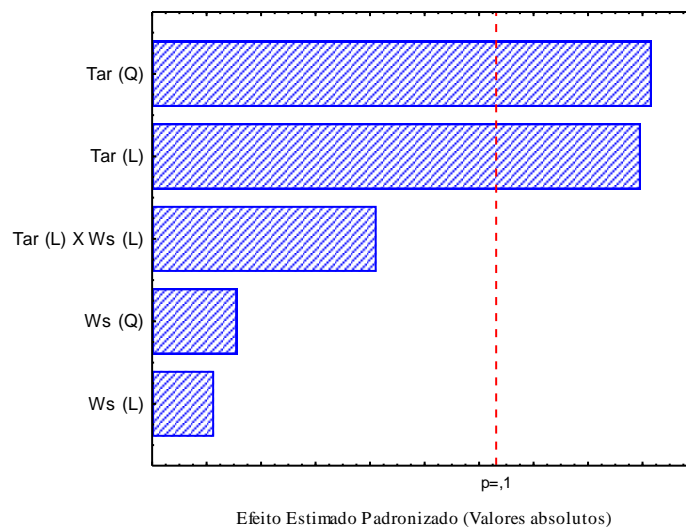
Fator	Efeito	p
T <sub>ar</sub> (L)	<b>-0,1250</b>	<b>0,0707</b>
T <sub>ar</sub> (Q)	<b>0,1690</b>	<b>0,9692</b>
W <sub>s</sub> (L)	- 0,0159	0,4586
W <sub>s</sub> (Q)	-0,0288	0,3629
T <sub>ar</sub> (L) por W <sub>s</sub> (L)	-0,0812	0,1515

Fonte: Autora (2017)

Verifica-se com base na Tabela 12 que, nesse caso, T<sub>ar</sub> (L) e T<sub>ar</sub> (Q) apresentaram efeitos significativo sobre o PMS, porém, o efeito negativo para a temperatura linear nos informa que a medida em que aumenta-se a temperatura, diminui-se o PMS.

A significância dos efeitos individuais e combinados das variáveis independentes pode ser confirmada pelo diagrama de Pareto, conforme Figura 46.

Figura 46 - Diagrama de Pareto para o PMS



Fonte: Autora (2017)

A significância estatística do modelo foi verificada pela análise de variância (ANOVA) e o teste de Fisher comparou todos os pares de médias para predizer se o processo permite gerar um modelo matemático. A Tabela 13 apresenta os valores da análise estatística apenas para os fatores que apresentaram efeitos sobre a resposta.

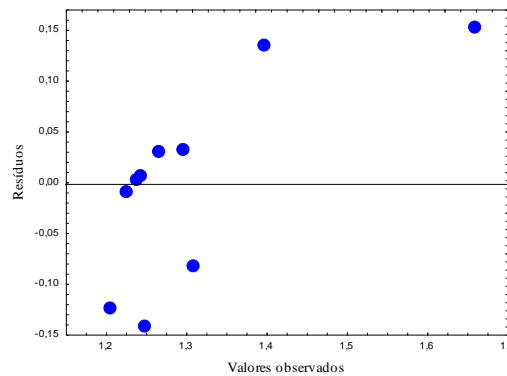
Tabela 13 - Análise estatística para o PMS

	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	0,08	2	0,04	3,17	3,52
Resíduos	0,09	7	0,01		
Falta de ajuste	0,08	6	0,01	36,44	55,83
Erro puro	0,00	1	0,001		
Total SS	0,16	9			

Fonte: Autora (2017)

Foi obtido um coeficiente de determinação (percentual de variação explicada) de 47 % para a regressão do modelo, em relação ao valor máximo explicável de 99,8%. Através a tabela observa-se que o modelo não passou nos testes, sendo a regressão não significativa e apresentando falta de ajuste. Novamente, a alternativa que pode permitir afirmar se o modelo pode ser usado é a análise dos resíduos (Figura 47).

Figura 47 - Resíduos para o PMS



Fonte: Autora (2017)

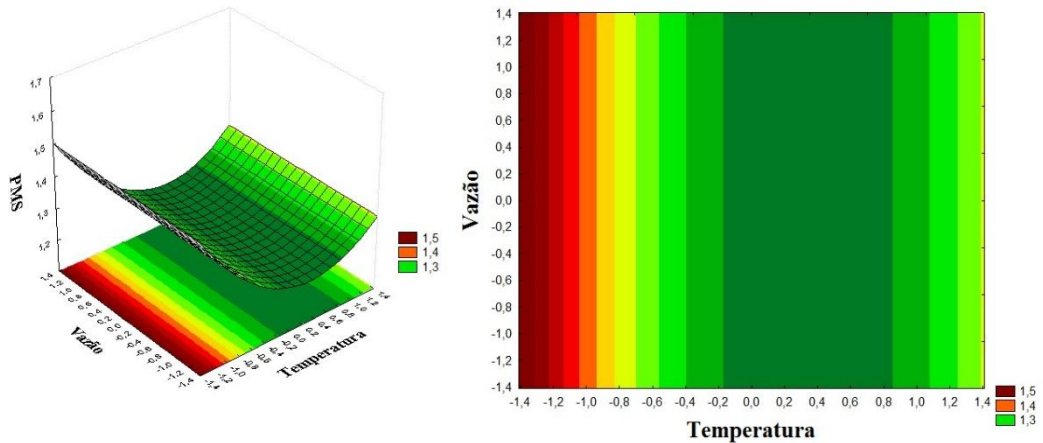
Na Figura 47 pode-se observar que houve uma distribuição aleatória dos resíduos.

O modelo polinomial de segunda ordem (Equação 13) foi obtido para estimar o PMS como uma função dos parâmetros estatisticamente significativos ( $p < 0,1$ ). Este modelo está na forma codificada, onde  $X_1$  corresponde a temperatura do ar.

$$PMS = 1,2365 + 0,0907 X_1^2 - 0,0625 X_1 \quad (13)$$

A Figura 48 apresenta as superfícies de respostas e curvas de contorno, obtidas a partir do modelo matemático de segunda ordem, na forma codificada, para as diferentes variáveis independentes.

Figura 48 - Superfície de resposta e curvas de contorno para eficiência do processo



Fonte: Autora (2017)

Observando a Figura 48 pode-se verificar que a região que maximiza o PMS é na temperatura próxima ao ponto axial inferior para toda a faixa de vazão.

### 5.5 Avaliação do produto final

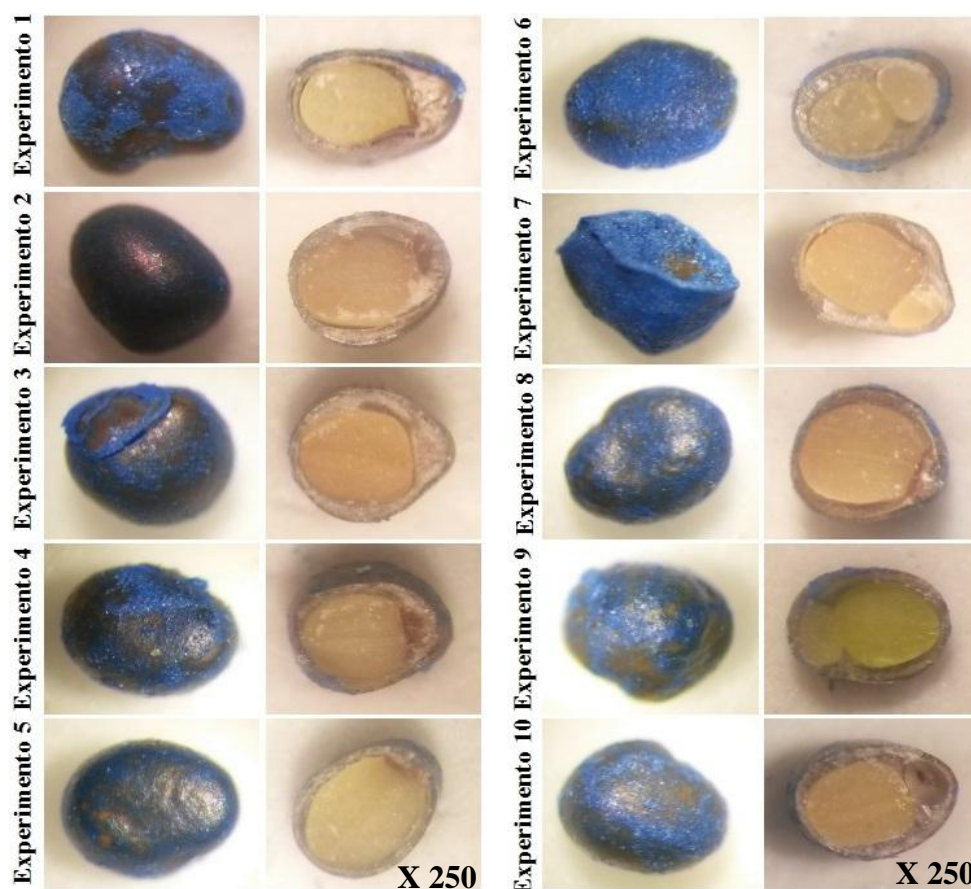
Com base nos resultados de caracterização do produto recoberto (eficiência e crescimento) foi possível afirmar a condição que apresentou resultados mais satisfatórios. Sendo o objetivo final do processo o incremento no tamanho e peso das sementes para assim adequar a regulagem de maquinários agrícolas para semeadura, considerou-se como mais satisfatório o experimento 8, pois forneceu os maiores valores para a eficiência do processo e crescimento das partículas. Os valores encontrados foram de 50,36 % e 2,9128 %, respectivamente, provenientes do recobrimento com temperatura de 75 °C e vazão da suspensão de 13,4 mL/min.

## 5.5.1 Caracterização das sementes de cornichão recobertas

### 5.5.1.1 Análise morfológica

Observa-se na Figura 49 as micrografias referentes aos 10 experimentos para as sementes inteiras e cortadas longitudinalmente.

Figura 49 - Micrografias das sementes recobertas

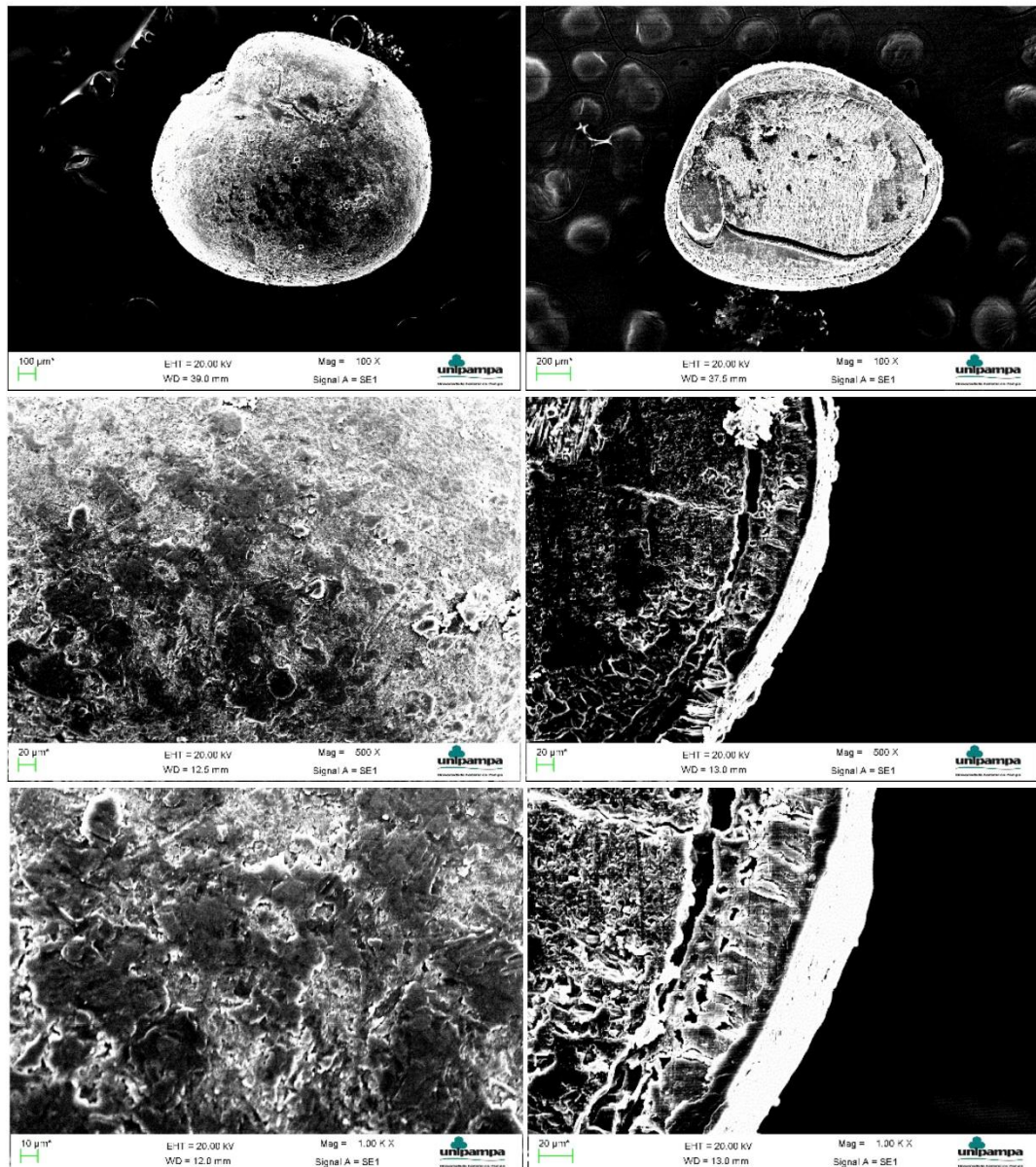


Fonte: Autora (2017)

Através das micrografias é possível verificar a formação de camada polimérica para as diferentes condições de recobrimento. Porém, para algumas condições experimentais a cobertura apresentou-se pouco espessa e com muitas irregularidades. A espessura da camada pode ser atribuída a um curto período de tempo no processo de recobrimento ou então a quantidade de sólidos insuficiente para uma formação regular, já as irregularidades podem ser justificadas pelo período de secagem insuficiente para a completa adesão da suspensão a partícula.

A Figura 50 apresenta a microscopia eletrônica de varredura (MEV) realizada nas sementes de cornichão recobertas inteiras e cortadas longitudinalmente do experimento 8, com magnificação de 100, 500 e 1000 vezes.

Figura 50 - MEV das sementes de cornichão recobertas



Fonte: Autora (2017)

A partir das micrografias da amostra recoberta é possível verificar que a camada polimérica modificou a superfície da semente proporcionando um incremento no tamanho das sementes. Também é possível observar que o recobrimento não influenciou na estrutura interna das sementes permanecendo intacto o embrião e porção de reservas.

Avaliando o processo de recobrimento de acordo com a escala proposta por Burris (s.d), é possível afirmar que o recobrimento das sementes de cornichão está em uma faixa de 0 a 5, não possuindo uma cobertura excelente mas também não sendo considerado sem recobrimento.

#### 5.5.1.2 Massa específica real

A Tabela 14 mostra o comparativo entre o valor de massa específica real das sementes *in natura* e das sementes recobertas na melhor condição.

Tabela 14 - Valores para picnometria gasosa

Massa específica <i>in natura</i> (kg/m <sup>3</sup> )	Massa específica recobertas (kg/m <sup>3</sup> )
1281,8 ± 0,4	1303,4 ± 0,3

Fonte: Autora (2017)

Observa-se com base nos valores da Tabela 14 que houve um aumento na massa específica das sementes de 2 %. Esse aumento no valor da massa específica está relacionado com a diminuição do volume ocupado pelo gás devido a camada polimérica ter tornado as sementes menos permeáveis, ou seja, impedindo a entrada do gás nos poros das sementes.

#### 5.5.1.3 Índice de germinação

A Tabela 15 apresenta os valores de germinação para as diferentes condições de recobrimento.



Tabela 15 - Dados de germinação de sementes recobertas

Experimento	Germinação
<i>in natura</i>	62,5 ± 8
1	24,25 ± 3,87
2	24,75 ± 3,87
3	23,75 ± 4,75
4	29,75 ± 3,75
5	21,75 ± 3,75
6	33 ± 4
7	30 ± 3,5
8	38,5 ± 6
9	27,75 ± 6,4
10	37 ± 6,5

Média ± desvio médio, n=4

Fonte: Autora (2017)

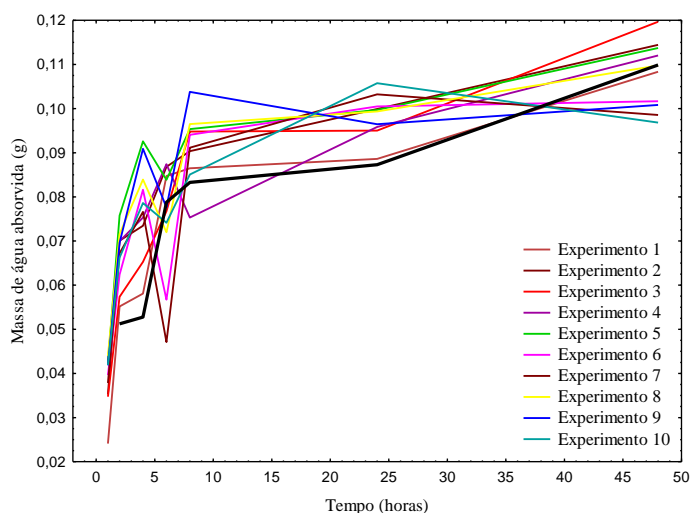
É possível observar que o recobrimento reduziu o índice de germinação das sementes porém não prejudicou a qualidade das mesmas. Sabendo-se que o índice de germinação contabiliza não só as sementes germinadas mas também as sementes duras (sementes viáveis para germinação mas que por algum motivo não germinaram) observa-se que as sementes *in natura* apresentaram germinação em torno de 62,5 % sendo esse valor o somatório do valor real germinado (41 %) e das sementes duras (19 %), já o índice de germinação das sementes recobertas ficou na faixa de 21 a 38 % valor esse que não apresentou sementes duras e bem próximo ao valor de germinação real das *in naturas*.

Sendo assim, o recobrimento reduziu apenas o número de sementes duras que ficou em menos de 3 %, ou seja, o processo de recobrimento ocasionou a quebra de dormência das sementes reduzindo o número de sementes duras e a redução no valor da germinação pode ter ocorrido pois conforme Xavier; Vieira; Guimarães (2015), o revestimento de sementes provoca um atraso e conseqüente diminuição na germinação, o que pode ser verificado através da Tabela 15. Esse atraso na germinação pode ocorrer devido ao material utilizado no processo de revestimento, que exige que uma barreira física seja superada pela semente confirmando a fala de Mendonça (2003) que salienta que amidos e polímeros, podem promover a vedação dos poros do filme não permitindo trocas gasosas entre a semente e o meio. Contudo, alguns materiais permitem a difusão de gases e água entre a semente e o ambiente (NASCIMENTO et al., 2009).

#### 5.5.1.4 Curvas de Embebição

Para justificar a queda nos valores de germinação, complementou-se essa resposta com a análise das curvas de embebição conforme Figura 51.

Figura 51 - Curvas de embebição



Fonte: Autora (2017)

Observa-se, que da mesma forma que as sementes *in natura*, as sementes recobertas apresentaram perfil padrão de embebição. Verifica-se, que até 4 h de embebição todas as curvas apresentaram o mesmo perfil crescente de absorção de água. O experimento 5 foi o que absorveu maior massa de água nesse período seguido pelos experimentos 9, 8, 6, 10, 7, 4, 2, 3 e 1. Nessa fase ocorre a embebição propriamente dita, uma fase mais rápida. A segunda fase na qual ocorre uma redução na velocidade de absorção e uma série de reações químicas é compreendida pelo período de 4 a 6 h. Após esse período verifica-se o acréscimo de massa devido ao início do processo germinativo. Também, da mesma maneira que a análise das sementes *in natura*, após às 72 h algumas amostras reduziram seu peso devido ao início da degradação das amostras, sendo assim, retirou-se essa informação da curva.

A fim de justificar os valores de germinação pode-se observar que, em ordem decrescente de germinação tem-se os experimentos 8, 10, 6, 7, 4, 9, 2, 1, 3 e 5. O experimento 5 apresentou melhor capacidade de absorção, porém, foi o que germinou menos. Visto que essa condição foi realizada com a menor temperatura o que não degradaria as sementes, e com vazão

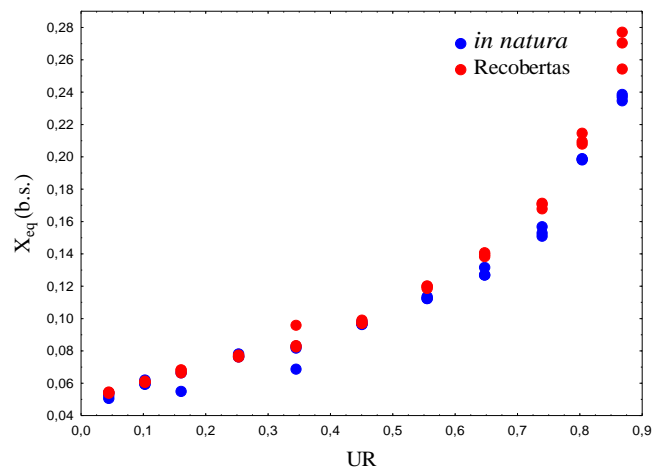
de suspensão baixa deixando as sementes com umidade 8 % (b.u.) acredita-se que o processo fluidodinâmico tenha propiciado a degradação das sementes devido ao atrito.

O experimento 8 foi o que apresentou maior germinação e melhor condição de embebição confirmando que essa foi a melhor condição experimental.

#### 5.5.1.5 Isotermas de adsorção

Conforme observado nas bibliografias de Faria; Costa; Rocha (1998) e Tolaba et al. (2004) o modelo de GAB se adequa melhor quando utiliza-se sementes como matéria prima. Sendo assim, a Figura 52 exhibe as isotermas de adsorção de sementes de cornichão, resultantes do modelo GAB na temperatura de 25 °C.

Figura 52 - Curva de adsorção das sementes de cornichão



Fonte: Autora (2017)

Verifica-se que as isotermas apresentam o formato sigmoideal, correspondente ao tipo II, conforme a teoria BET (BRUNAUER; EMMETT; TELLER, (1938)), indicando a existência de umidade adsorvida em camadas multimoleculares. Segundo IUPAC (1982) a isoterma reversível do tipo II é a forma mais normal de isoterma obtida a partir de um adsorvente não poroso ou macroporoso. A isoterma de Tipo II representa a adsorção monocamada-multicamada sem restrições.

Verifica-se que a curva tanto para as sementes *in natura* quanto para as sementes recobertas apresentaram o mesmo formato. Com isso é possível afirmar que as condições de

armazenamento seriam as mesmas pra ambas condições. Também é possível afirmar que o processo de recobrimento protegeu as sementes sem interferir nas suas características.

Com base no modelo de GAB foi possível a determinação de seus parâmetros conforme Tabela 16.

Tabela 16 – Estimativa dos parâmetros para o modelo de GAB para as sementes de cornichão *in natura* e recobertas

GAB	$X_m$	k	C	$R^2$
<i>in natura</i>	0,0569	0,8766	202,7362	0,9964
Recobertas	0,0591	0,8968	187,6453	0,9980

Fonte: Autora (2017)

A estimativa dos valores do conteúdo de umidade da monocamada ( $X_m$ ), pelo modelo de GAB é importante uma vez que a deterioração de produtos alimentícios e/ou vegetais é muito pequena quando os mesmos são armazenados abaixo de  $X_m$ . Costa (2010) menciona que isso ocorre porque a água é fortemente ligada ao produto abaixo do conteúdo da monocamada e não está envolvida em qualquer reação de deterioração quer como solvente ou como um dos substratos.

Observa-se que os valores de  $k$ , apresentam valores menores que 1, variando entre 0,87 a 0,89 e não apresentando comportamento definido com a temperatura, enquanto que os parâmetros  $X_m$  e C têm comportamento inversamente proporcional ao aumento da temperatura, sendo esta característica observada em trabalhos com produtos agrícolas propostos por diversos pesquisadores como Faria; Costa; Rocha (1998); Menkov (2000).

Kanaan (2014) estudando as isotermas de dessecção das sementes de cornichão a 40 °C também verificou que as mesmas são do tipo II. Além disso, obteve valores, para as constantes do modelo de GAB,  $X_m$ , k, C e  $R^2$  de 0,051, 0,749, 172,256 e 0,995, respectivamente. Os valores encontrados estão bem próximos aos reportados.

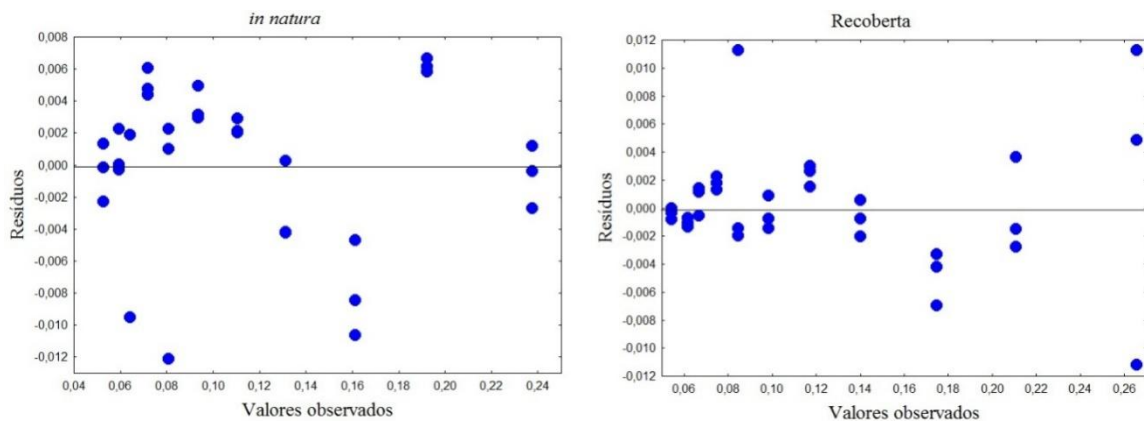
Deve-se salientar que as isotermas das sementes recobertas deveriam apresentar valor para  $X_m$  maior que o das sementes *in natura* uma vez que o processo também deveria servir como uma barreira protetora, porém o que ocorreu foi a interação entre a umidade relativa e os insumos utilizados na formação da camada polimérica por serem higroscópicos. Conforme já citado anteriormente, Mendonça (2003) menciona que alguns polímeros podem absorver água até duas mil vezes o seu peso e, quando aplicados à semente, absorvem a água disponível ao

seu redor, formando um reservatório para a semente, o que pode ter ocorrido nesse caso. Também foi observado por Müller; Yamashita; Laurindo (2008) que plastificantes como o glicerol, devido aos grupamentos hidroxila tornaram os filmes mais higroscópicos.

Costa (2010) menciona que a mudança na temperatura de armazenamento das sementes pode resultar em alterações físicas e/ou químicas no produto que influenciam na redução no número total de sítios ativos de ligação de água. Isso justifica a necessidade de um correto beneficiamento e armazenamento das sementes a fim de manter a qualidade e suas propriedades. Com isso, verifica-se que o ponto representado por 0,1 UR é o início da seção média quase linear da isoterma, e é frequentemente tomado para indicar a fase em que a cobertura monocamada está completa e a adsorção multicamada está prestes a começar, ou seja, partir desse valor, um pequeno aumento na umidade relativa do ambiente propicia um considerável acréscimo na umidade de equilíbrio das sementes de cornichão comprometendo a qualidade do produto nos locais de armazenamento em que UR seja superior a 10%.

A equação de GAB, além de apresentar um coeficiente de ajuste elevado (0,9980) apresentou também uma distribuição aleatória de resíduos adequada, ou seja, o modelo não é tendencioso, o que valida sua utilização conforme mostra Figura 53.

Figura 53 - Gráficos dos resíduos



Fonte: Autora (2017)

### 5.5.2 Estabelecimento a campo

Verificou-se o desenvolvimento de sementes *in natura* e recobertas semeadas em casa de vegetação e a campo.

### 5.5.2.1 Velocidade de Emergência em Casa de Vegetação

O produto final foi levado à germinação em casa de vegetação a fim de simular as condições ambientais na qual as sementes são submetidas durante o processo de semeadura e acompanhar seu desenvolvimento.

A Figura 54 representa o desenvolvimento de sementes de cornichão em casa de vegetação.

Figura 54 - Desenvolvimento do cornichão em casa de vegetação



Fonte: Autora (2017)

Conforme mostrado na Figura 54 observa-se que ocorreu um desenvolvimento condizente com a teoria explicada previamente por Zimmer (2007) conforme Figura 2.

A Tabela 17 apresenta os índices de germinação.

Tabela 17 - Dados de germinação de sementes recobertas

Experimento	Germinação (%)	Vigor (%)	Relação da germinação com vigor (%)
<i>in natura</i>	20	14	70
1	27	22	81
2	29	20	69
3	27	23	85
4	27	17	63
5	23	15	65
6	40	27	68
7	26	14	54
8	30	14	47
9	29	19	66
10	25	12	48

Fonte: Autora (2017)

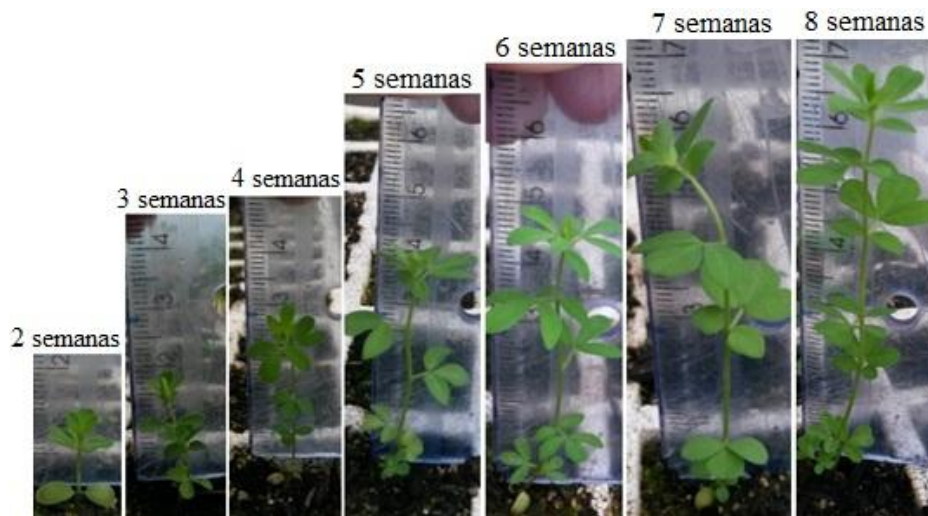
Observa-se que, a germinação em casa de vegetação ficou na faixa de 20 a 40 %, valores bem semelhantes aos encontrados em estufa (21 a 38 %). Da mesma forma que a germinação realizada em estufa, os experimentos 6 e 8 mantiveram-se na faixa de 30 % de germinação, os experimentos 7 e 10 tiveram uma pequena redução no valor de germinação e os experimentos 1, 2, 3, 4, 5 e 9 mantiveram-se na faixa de 20 % de germinação. Nesta análise, diferente da germinação em estufa (quando o objetivo é fornecer as melhores condições para que as sementes germinem), o valor para as sementes *in natura* foi inferior.

Zimmer (2007) salienta que os resultados do teste de germinação frequentemente não se reproduzem em nível de campo, pois no solo as condições raramente são ótimas para a germinação das sementes. Dessa maneira, desenvolveu-se o conceito de testes de vigor que é o resultado da conjugação de todos os atributos da semente que permite a obtenção de um adequado estande sob condições de campo, favoráveis e desfavoráveis.

É possível verificar que o vigor das sementes compreende uma faixa entre 47 a 85 % do valor total da germinação.

A Figura 55 apresenta o acompanhamento da altura das plantas, para a condição que apresentou maior crescimento de partícula, no decorrer do período experimental.

Figura 55 - Acompanhamento de altura



Fonte: Autora (2017)

Foi possível perceber durante o período experimental que as plantas cresceram em média, para todos os experimentos, em torno de 1 cm por semana até atingirem uma altura máxima de 7 cm. Diferente da condição *in natura* que apresentou altura máxima de 1 cm durante todo o período. O que pode ter acontecido é que ou as temperaturas utilizadas no recobrimento ou algum componente presente no Colorseed® podem ter dado início no desenvolvimento das sementes favorecendo esse crescimento.

#### 5.5.2.2 Velocidade de Emergência em Solo

A Tabela 18 mostra os valores de densidade de semeadura calculados e os reais semeados. Os valores reais foram obtidos baseando-se na resposta obtida através da análise de germinação em estufa.

Tabela 18 - Valores de semeadura ideal e real

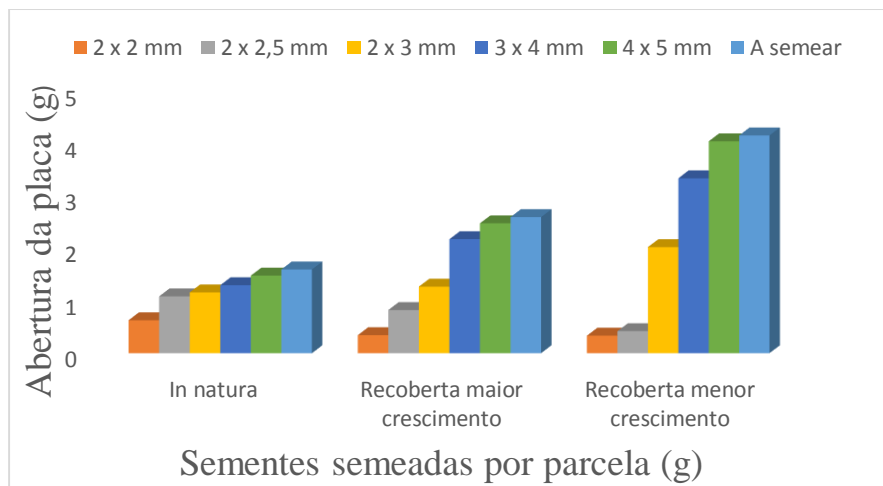
(Espessura x diâmetro)	<i>in natura</i>		Recoberta maior crescimento		Recoberta menor crescimento	
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
2 x 2 mm	0,6299	39,37	0,3444	13,25	0,3347	8,05
2 x 2,5 mm	1,0857	67,86	0,8241	31,7	0,4213	10,13
2 x 3 mm	1,1617	72,61	1,272	48,92	2,0269	48,72
3 x 4 mm	1,2991	80,75	2,1786	83,71	3,3414	80,04
4 x 5 mm	1,4819	92,45	2,4814	95,28	4,0478	96,97
à semear	1,6	100	2,6	100	4,16	100

Fonte: Autora (2017)



Os valores apresentados na Tabela 18 podem ser melhor compreendidos analisando-se a Figura 56.

Figura 56 - Histograma da semente dentro da mesma amostra

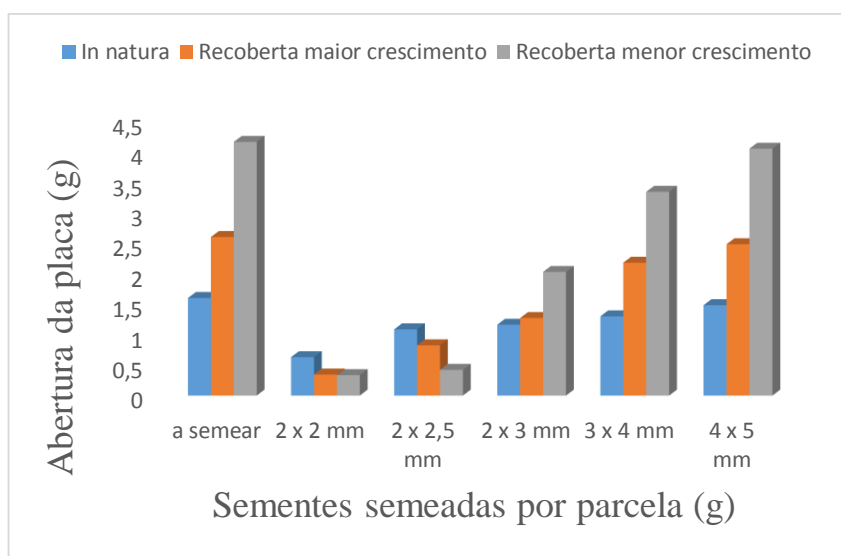


Fonte: Autora (2017)

Comparando-se dentro da mesma amostra (*in natura*, recoberta com maior crescimento ou recoberta com menor crescimento) à medida que aumenta-se a abertura da vazão de sementes aumenta-se a porcentagem de sementes semeadas o que está condizente, uma vez que com o aumento do orifício tem-se facilidade de passagem das sementes. Esse valor chega bem próximo a 100 % (semeadura completa) para a abertura de 5 mm.

Relacionando-se os valores semeados de acordo com o diâmetro de abertura da placa tem-se a Figura 57.

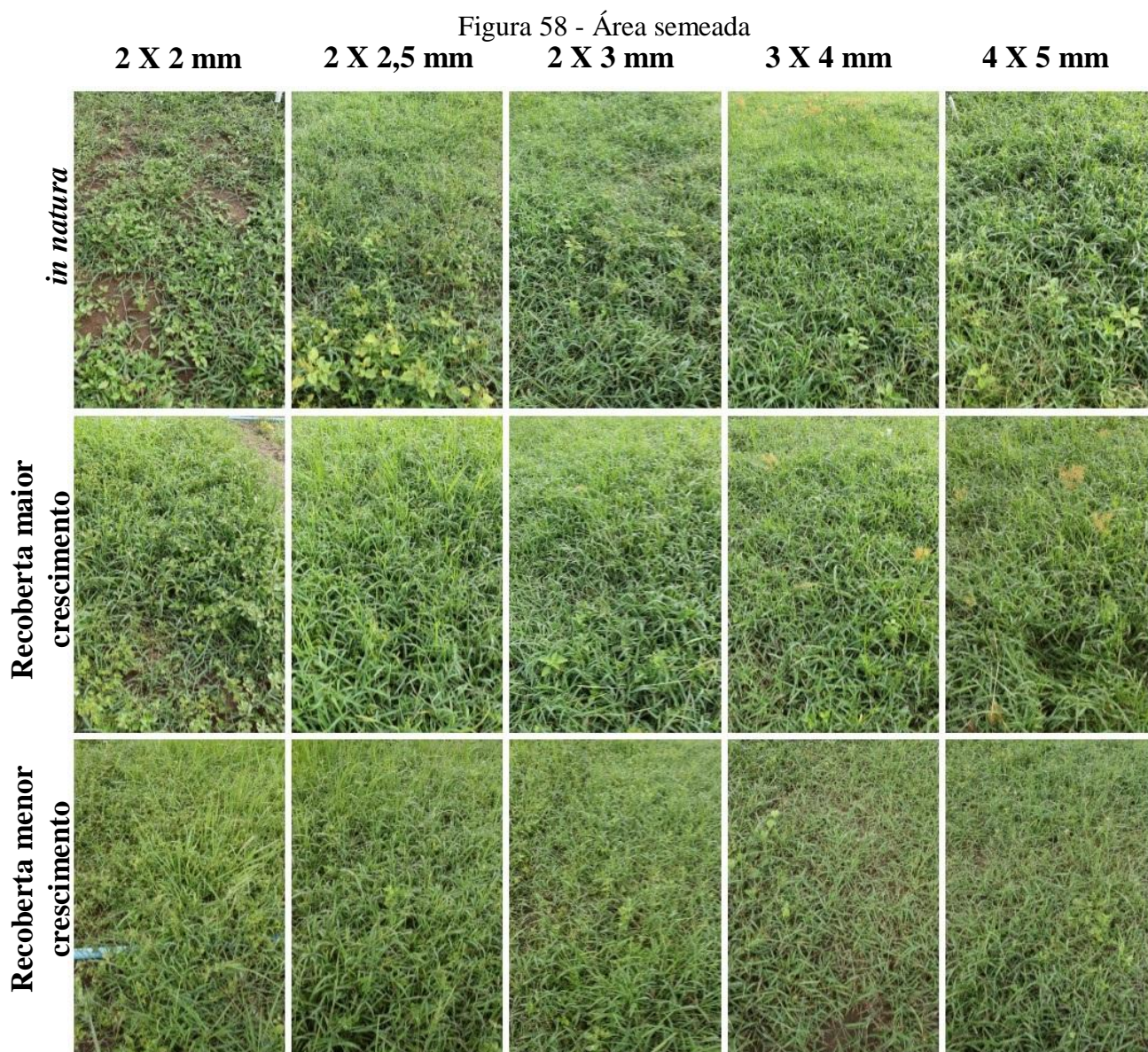
Figura 57 - Histograma de semeadura das sementes de cornichão dentro da mesma abertura de vazão



Fonte: Autora (2017)

Observou-se, comparando as sementes *in natura* em relação às recobertas para as aberturas de 2 a 3 mm, que a quantidade de sementes recobertas é inferior às sementes *in natura*. Esse fato ocorre pois devido ao aumento de tamanho das sementes proporcionado pelo recobrimento as mesmas tem maior dificuldade de passar pelo orifício. Com a abertura de 4 mm de diâmetro observa-se que o valor semeado das sementes recobertas praticamente se iguala ao valor das sementes *in natura*. A partir dessa abertura verifica-se que a semeadura das sementes de cornichão *in natura* atinge 92 % sendo o recobrimento responsável pelo aumento, de aproximadamente 3 %, no valor da semeadura das sementes, chegando a faixa de 97 %.

A área semeada pode ser observada de acordo com a Figura 58.



Fonte: Autora (2017)

Com relação às sementes semeadas nessa etapa, verificou-se que não houve emergência das plântulas em nenhuma das condições mencionadas. Tal fato ocorreu uma vez que as sementes foram semeadas no período da primavera, ou seja, fora do período de semeadura adequado da espécie que é entre abril a junho conforme já mencionado por Fontaneli; Santos; Fontaneli, (2012) para que ela tenha um crescimento padrão conforme a Figura 1. Apesar da área estar completamente coberta, são apenas plantas invasoras que se desenvolvem nas áreas semeadas. Nenhuma dessas espécies que aparecem na Figura 58 são cornichão.

## 6 CONCLUSÕES

Com a realização do estudo do recobrimento de sementes de cornichão (*Lotus corniculatus* L.) em leito de jorro foi possível concluir que:

- As sementes de cornichão foram caracterizadas física, fisiológica e morfológicamente obtendo-se seus parâmetros mais significativos como umidade de  $9,20 \% \pm 0,04$ , diâmetro de Sauter de  $1,18 \text{ mm} \pm 0,01$ , massa específica real de  $1281,80 \text{ kg/m}^3 \pm 0,40$ , índice de germinação de  $62,5 \% \pm 8$  e PMS de  $1,21 \text{ g} \pm 0,03$ . Verificou-se que as sementes se enquadraram no grupo D da classificação de Geldart, portanto, são do grupo jorráveis. Quanto à embebição das sementes elas apresentam comportamento padrão resultando em um perfil trifásico. Com a análise morfológica foi possível verificar as distintas partes das sementes (embrião, porção de reservas e tegumento).
- Com o estudo de diferentes formulações para determinar a suspensão de recobrimento adequada ao processo concluiu-se que a suspensão que melhor se adequou, estando dentro dos valores de concentração de sólidos sugeridos pela literatura e originando filmes uniformes e regulares, foi composta por talco, amido, gelatina, Colorseed®, glicerol e água.
- Como estudo da fluidodinâmica das partículas em leito de jorro verificou-se que a perda de carga do equipamento (branco) é uma função potência com  $R^2$  de 0,9942; que as curvas fluidodinâmicas das sementes estão de acordo com a curva típica fluidodinâmica, que a carga mássica mais adequada ao processo foi de 500 g. Com essa carga obteve-se valores de queda de pressão máxima de 1029,40 Pa, queda de pressão de jorro mínimo de 655,4 Pa e velocidade de jorro mínimo de 0,04 m/s.
- Realizando-se o estudo do processo de recobrimento das sementes em leito de jorro foi possível concluir que a eficiência do recobrimento obteve faixas entre 6 a 50 %, o crescimento da partícula entre 0,3 a 2,9 % e o PMS apresentou valores entre 1,1 a 1,5 g. Os efeitos mais pronunciados foram  $W_s(Q)$ ,  $Tar(Q)$  e  $Tar(Q)$  para a eficiência do processo, o crescimento das sementes e o PMS, respectivamente.
- Avaliando-se o produto final considerou-se como mais satisfatório o experimento 8, pois foi o que forneceu os maiores valores para a eficiência do processo (50,36 %) e crescimento das partículas (2,9128 %), provenientes do recobrimento com temperatura de 75 °C e vazão da suspensão de 13,4 mL/min. Através da análise morfológica

verificou-se que houve a formação de camada polimérica porém, pouco espessa e irregular. O índice de germinação das sementes teve uma redução em seu valor para todas as amostras, confirmando o que a literatura menciona que o revestimento de sementes provoca um atraso e a consequente diminuição na germinação. Obteve-se valores na faixa entre 21 a 38 % sendo a melhor condição experimental responsável pela germinação de 38 % das sementes de cornichão. As isotermas de adsorção apresentaram formato correspondente ao tipo II que indica a existência de umidade adsorvida em camadas multimoleculares, característico de sementes de leguminosas. O modelo de GAB descreveu o processo apresentando, para as semente *in natura*, valores de  $X_m$ ,  $k$  e  $C$  de respectivamente, 0,0569, 0,8766 e 202,7362; já para as sementes recobertas 0,0591, 0,8968 e 187,6453.

- Analisando-se o estabelecimento a campo verificou-se que na casa de vegetação o cornichão apresentou desenvolvimento condizente com a teoria. Os valores encontrados na casa de vegetação para as amostras recobertas foram bem semelhantes aos encontrados em estufa (21 a 38 %). Já no campo observou-se que quanto maior a abertura da placa, mais sementes são semeadas. Não foi possível analisar as plantas, pois as sementes não germinaram devido a semeadura fora da época indicada para a espécie.
- Contudo, o processo de recobrimento foi satisfatório pois o processo proporcionou incremento ao peso e tamanho das sementes, possibilitando que as mesmas fosse semeadas mecanicamente. Talvez os valores obtidos ainda não sejam suficientes para que o procedimento possa ser reproduzível junto aos produtores agrícolas. Alguns ajustes ainda se fazem necessários para que o processo seja acessível e tenha uma boa relação custo/benefício. Alguns fatores devem ser revistos como, por exemplo, o tempo de processo para proporcionar uma camada polimérica mais espessa e regular, os insumos utilizados para que não sejam higroscópicos nem se tornem barreiras limitando as trocas gasosas, a temperatura de processo para que não ocorra a deterioração das sementes, entre outros fatores importantes.

## 7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar um estudo para quebra de dormência das sementes de cornichão que consiste na atomização de água em elevadas temperaturas seguido de secagem em leito de jorro;
- Realizar um estudo para identificar diferentes técnicas de análise de germinação específicas para sementes recobertas;
- Verificar a possibilidade da inserção de componentes como inseticidas, fungicidas, fertilizantes, entre outros, na suspensão polimérica;
- Avaliar o processo fluidodinâmico a fim de verificar se o mesmo não ocasiona na redução de germinação pelo atrito das partículas;
- Estudar o processo de recobrimento em leito fluidizado uma vez que as sementes de cornichão, quanto a classificação de *Geldart*, estão no limiar dos grupos B e D;
- Realizar o monitoramento das condições de ar de saída do equipamento evitando assim, a degradação das sementes pela elevação da temperatura e aumento da umidade de bulbo úmido, e
- Otimização do processo de recobrimento para a determinação da condição ótima de trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEODATO, M. G. **Análise da Fluidodinâmica de Leito de Jorro durante o Recobrimento de Partículas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

ALBANEZ, R. **Recobrimento Gastrorresistente de Pellets de Diclofenaco de Sódio em Leito Fluidizado tipo Wurster**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2012.

ALMEIDA, A. R. F. de. **Análise da Secagem de Pastas em Leito de Jorro**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2009.

ALMEIDA, C. de. **Recobrimento de Sementes de Brócolos em Leito de Jorro e Leito Fluidizado**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

ARSEGO, O. et al. Recobrimento de Sementes de Arroz Irrigado com Ácido Giberélico, Fungicida e Polímero. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 28, nº 2, p.201-206, 2006.

AVELAR, S. A. G. **Tratamento e recobrimento de sementes de soja com polímeros líquido e em pó**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2009.

BAYS, R. et al. Recobrimento de Sementes de Soja com Micronutrientes, Fungicida e Polímero. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 29, nº 2, p.60-67, 2007.

BENATTO JÚNIOR, J. C. **Qualidade Fisiológica de Sementes de Soja Tratadas com Fungicida e Recobertas com Polímeros**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2008.

BEVILAQUA, G.A.P. et al. Recobrimento de Sementes de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) com Pó-de-rocha Granodiorito Gnáissico. **WORKSHOP: Insumos para agricultura sustentável**. Embrapa Clima Temperado, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Padrão Nacional de Sementes de Gramíneas e Leguminosas Forrageiras** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p. ISBN 978-85-99851-70-8.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American Chemists' Society**, vol.60, p. 309–319, 1938.

BURRIS, J. Film Coating Recovery Quality Rating Scale. Ames, IA. **Seed Science Center**, Iowa State University. 1p. s.d.

CARVALHO, P. C. de F. et al. **Forrageiras de clima temperado**. Grupo de pesquisa ecologia do pastejo, cap. 16. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CONCEIÇÃO FILHO, R. S. **Recobrimento de Sementes de Soja com Fertilizantes em Leito de Jorro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 1997.

CORDEIRO, D. S.; OLIVEIRA, W. P. Technical aspects of the production of dried extract of *Maytenus ilicifolia* leaves by jet spouted bed drying. **International Journal of Pharmaceutics**, n° 299, p. 115–126, 2005.

CORRÊA, S. J. P. **Utilização de Filmes a Base de Pectina Contendo Extrato de Própolis Vermelha para Recobrimento de Sementes de Girassol**. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) - Universidade Tiradentes. Aracaju, 2011.

COSTA, C. M. L. **Caracterização e Análise Experimental do Recobrimento de Sementes de Jambu (*Spilanthus oleracea*) em Leito Fluidizado**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010.

COSTA, T. P. da. **Avaliação da Fluidodinâmica e do Recobrimento de Grânulos de Ureia em Leito de Jorro para Minimizar as Perdas de Nitrogênio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Pampa. Bagé, 2015.

CUNHA, J. R. et al. Curva de embebição de sementes de *Carthamus tinctorius* L. In: **Reunião Anual da SBPC**, 62, 2010, Natal. Anais eletrônicos. Rio Grande do Norte: SBPC/UFRN, 2010.



DONIDA, M. W. **Recobrimento Polimérico da Ureia em Leito de Jorro Bidimensional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

FALEIROS, M. F. et al. **Estudo da Fluidodinâmica em um Leito de Jorro Bidimensional com Alimentação não Convencional**. In: Anais XIX Jornada de Engenharia Química. Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

FARIA, L. J. G; COSTA, C. M. L.; ROCHA, S. C. S. Determination and analyzis of desorption isotherms and isosteric heats of annatto (*Bixa orellana* L.) seeds. **Drying'98**. Greece, v. C, p. 2041-2048, 1998.

FEE, Fundação de Economia e Estatística. **Em 2013, o Rio Grande do Sul liderou o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) na nova série, entretanto perdeu a quarta posição entre as maiores economias do País**. 2014. Disponível em: <<http://www.fee.rs.gov.br/pib/em-2013-o-rio-grande-do-sul-liderou-o-crescimento-do-produto-interno-bruto-pib-na-nova-serie-entretanto-perdeu-a-quarta-posicao-entre-as-maiores-economias-do-pais/>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

FERREIRA, R. L. **Etapas do Beneficiamento na Qualidade Física e Fisiológica de Sementes de Milho**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho. São Paulo, 2010.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. **FORAGEIRAS para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2. ed. - Brasília, DF: Embrapa, 2012.

FORMOSO, F. **Producción de Semillas de Especies Forrajeras**. Montevideo: INIA, 2011. 234 p. (INIA. Serie técnica, 190).

FOUST, A. S. et al. **Princípios das Operações Unitárias**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

FOX, R.; PRITCHARD, P.; McDONALD, A. **Introduction to fluid mechanics**. 7ed. Nova Deli: Wiley India Pvt Ltd, 2009.

FRANÇA NETO, J.B. et al. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade: Série sementes. **Circular Técnica**. Embrapa Soja, Londrina, 2007.

FREIRE, J. T.; OLIVEIRA, W. P. Aspectos tecnológicos dos processos de recobrimento de

partícula. In: FREIRE, J. T.; SARTORI, D. J. M. (Coords.). **Tópicos especiais em secagem**. São Carlos, UFSCar, p. 253-293., Cap. 7, 1992.

FREITAS, L.A.P; FREIRE, J.T. Heat transfer in a draft tube spouted bed with bottom solids feed. **Powder Technology**. v. 114, p. 152-162, 2001.

GELDART, D. Types of gas fluidization. **Powder Technology**, 7 p. 285-292, 1973.

GIMÉNEZ-SAMPAIO, T.; SAMPAIO, N. V. (1994). Recobrimento de Sementes. **Informativo ABRATES**, v.4, n.3, p. 52.

GOMES, P. S. C. F.; FRANKE, L. B.; LOPES, R. R. Florescimento e Produção de Sementes de *Lotus subbiflorus* Lag. cv. El Rincón. **Revista Brasileira de Zootecnia**, vol.40, n.5, p.964-971, 2011.

HÖLBIG, L. S. **Recobrimento e condicionamento fisiológico de sementes de cebola e cenoura**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2007.

HÖLBIG, L. S. et al. Recobrimento de sementes de cenoura osmocondicionadas. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 32, nº 4 p. 022 - 028, 2010.

IUPAC. INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY. **REPORTING PHYSISORPTION DATA FOR GAS/SOLID SYSTEMS**. Pure & Appl. Chem., Vol.54, No.11, pp.2201—2218, 1982.

JACOB JÚNIOR, E. A. et al. Tratamentos para superação de dormência em sementes de cornichão anual. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 26, nº 2, p.15-19, 2004.

KANAAN, A. F. **Análise da Secagem de Cornichão (*Lotus corniculatus* L.) em Leito Fixo com Escoamento de Ar Paralelo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Pampa. Bagé, 2014.

LABBÉ, L. M. B. **Armazenamento de Sementes**. Especialização em Ciência e Tecnologia de Sementes. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior – ABEAS, 2007.

LIBARDI, B. P. et al. **Análise do Comportamento da Fluidodinâmica do Leito de Jorro Cônico com Misturas de Areia e Casca de Macadâmia**. In: Anais XXXVII Enemp. São Carlos, 2015.

LIMA, R. V. **Avaliação das características físicas e biológicas das sementes de urucu c.v. casca verde durante o desenvolvimento da maturação fisiológica**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito. Alegre, 2005.

LIU, L. X.; LITSTER, J. D. The Effect of Particle Shape on the Spouting Properties of Non Spherical Particles. **Power Technology**, v.66, p. 59-67, 1991.

LOPES, R. R.; FRANKE, L. B. Produção de Sementes de Quatro Ecótipos de *Paspalum* Nativos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, vol.40, n.1, p.20-30, 2011.

LUNA, S. et al. **Avaliação do Recobrimento Contínuo em Leito de Jorro de Grânulos de *Phyllanthus niruri* L. por Dissolução**. In: Anais COBEQ IC, 2007.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Produto Interno Bruto da agropecuária deve ser de R\$ 1,1 trilhão**. 2014. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2014/12/produto-interno-bruto-da-agropecuaria-deve-ser-de-rs-1-trilhao>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

MARTINS, M. L.; FELIPE, C. A. S.; ALVES, G. C. S. **Estudo Sobre a Viabilidade Técnica do Recobrimento de Sementes de Algodão em Leito de Jorro**. Anais: IV Seminário de Iniciação Científica, 2006.

MATHUR, K.; EPSTEIN, N. **Spouted Beds**. Academic Press Inc., New York, 1974.

MELO, P. T. B. S.; BARROS, A. C. S. A. Situação da Produção de Sementes de Trevo Branco (*Trifolium repens* L.), Cornichão (*Lotus corniculatus* L.) e Lotus Anual (*Lotus subbiflorus* Lag.) no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, vol.11, n. 1, p. 13-18, jan-mar, 2005.

MENDONÇA, E. A. F. **Revestimento de Sementes de Milho Superdoce**. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias e Veterinárias) - Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2003.

MENKOV, N. D. Moisture sorption isotherms of lentil at several temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 44, p. 205-211, 2000.

MÜLLER, C. M. O.; YAMASHITA, F.; LAURINDO, J. B. Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, n. 01, p. 82-87, abri. 2008.

NASCIMENTO, W.M. et al. Germinação de sementes de cenoura osmoticamente condicionadas e peletizadas com diversos ingredientes. **Horticultura Brasileira**, v.27, n.1, p.12-16, 2009.

OLIVEIRA, J. C. P.; KÖPP, M. M.; BARRES, A. F. Produção de Sementes de Cornichão. **Documentos**. Embrapa Pecuária Sul, Bagé, 2015.

PARK, K. J. et al. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Campinas, 2007.

PAULA JÚNIOR, J. **Fatores que Afetam os Valores Nutritivos de Forrageiras de Clima Tropical**. Monografia (Especialização em Produção e Reprodução em Bovinos) - Universidade Castelo Branco. Rio de Janeiro, 2007.

POLÍMEROS proporcionam maior uniformidade no plantio. **Campo e Negócio**, Uberlândia, 16 nov. 2014. Disponível em: < <http://www.revistacampoenegocios.com.br/polimeros-proporcionam-maior-uniformidade-no-plantio/>>. Acesso em: 02 fev. 2015.

PORTO, R. G. **Caracterização da Pecuária Familiar na Região da Campanha Meridional: Estudo de Caso no Município de Bagé-RS**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção Agrícola Familiar) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2008.

POTTER, M.; WIGGERT, D. **Mechanics of Fluids**. 3ed.Connecticut: Cengage, 2009.

POZITANO, M. **Conservação da Viabilidade de Sementes de *Senna macranthera* por meio de Recobrimento**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2011.

QUEIROZ FILHO, A. V. **Análise do Recobrimento de Comprimidos em Leito de Jorro Bidimensional para Três Posições de Atomização de Suspensão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1997.

QUINTINO, D. B.; MALAGONI, R. A. **Cinética de Cristalização de Sacarose em Cristalizador de Leito Vibrado**. In: Anais XXXVII Enemp. São Carlos, 2015.

ROSA, G. S. **Recobrimento de Ureia em Leito de Jorro para Minimizar as Perdas de Nitrogênio por Volatilização**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010.

SANTANA, E. B. **Análise Experimental do Comportamento Fluidodinâmico e da Secagem de Sementes de Linhaça (*Linum usitatissimum* L.) em Leito de Jorro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Pará. Belém, 2011.

SCATENA, R. et al. **Estudo da Fluidodinâmica em um Leito de Jorro Bidimensional com Alimentação não Convencional**. In: Anais COBEQ, 2014.

SILVA, O. S. **Desenvolvimento do Processo de Recobrimento e Secagem de Microgrânulos em Leito Fluidizado**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

SMIDERLE, O. J.; LIMA, J. M. E.; PAULINO, P. P. S. Curva de absorção de água em sementes de *Jatropha curcas* L. com dois tamanhos. **Revista Agroambiente**, v. 7, n. 2, p. 203-208, maio-agosto, 2013.

SOARES, J. C. R. **Avaliação Econômica da Terminação de Bovinos em Pastagem Irrigada**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

SOSTER, M. T. B. et al. Caracterização agrônômica de genótipos de cornichão (*Lotus corniculatus* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, vol.33, n.6, p.1662-1671, 2004.

SUNÉ, A D. **Metodologia de testes de germinação e de vigor para sementes de leguminosas e gramíneas nativas de importância para o bioma Campo**. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

TAYLOR, A. G. et al. Seed enhancements. **Seed Science Research**. v. 8, p. 245-256, 1998.

TEUNOU, E.; PONCELET, D. Batch and continuous fluid bed coating – review and state of the art. **Journal of Food Engineering**, v. 53, p. 325-340, 2002.

TOLABA, M. P. et al. Grain sorption equilibria of quinoa grains. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 365-371, 2004.

TREVISAN, L. **Bovinocultura de corte a base de pasto e integração lavoura-pecuária na fronteira oeste do Rio Grande do Sul**. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

WOODCOCK, C. R.; MASON, J. S. **Bulk Solids Handling: An Introduction to the Practice and Technology**. Glasgow: Leonard Hill, 1987.

XAVIER, P. B.; VIEIRA, H. D.; GUIMARÃES, C. P. Physiological potential of stylosanthes cv. Campo Grande seeds coated with different materials. **Journal of Seed Science**, v.37, n.2, p.117-124, 2015.

ZHAO, X. L.; YAO, Q.; LI, S. Q. Effects of Draft Tubes on Particle Velocity Profiles in Spouted Beds. **Chem. Eng. Technol**, 29, No. 7, p. 875–881, **2006**.

ZIMMER, P. D. **Fundamentos da qualidade de sementes**. Especialização em Ciência e Tecnologia de Sementes. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior – ABEAS, 2007.