

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

SILVESTRE JOAQUIM

**FATORES QUE CONTRIBUEM NA FORMAÇÃO DE  
AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA E RESINA NA  
FABRICAÇÃO DE OSB.**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

Curitiba  
2015

SILVESTRE JOAQUIM

**FATORES QUE CONTRIBUEM NA FORMAÇÃO DE  
AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA E RESINA NA  
FABRICAÇÃO DE OSB.**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

Curitiba  
2015

## RESUMO

SILVA, Renan Favarão da. **FATORES QUE CONTRIBUEM NA FORMAÇÃO DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA E RESINA NA FABRICAÇÃO DE OSB.** Monografia do Curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

Foram analisadas as condições do processo de fabricação de OSB-painéis de lascas orientadas que contribuem para a formação de aglomerados de partículas de madeira e resina, usando-se os delineamentos de experimentos Anova, Fatorial Completo e *Plackett-Burman*. Concluiu-se, com um nível de significância de vinte por cento, que o tempo de vida da resina fenólica é a única condição que influencia significativamente na formação de aglomerados.

**Palavras- Chaves:** DOE; partículas; madeira; OSB; encoladora.

## **ABSTRACT**

**SILVESTRE, Joaquim. FACTORS THAT CONTRIBUTE TO THE FORMATION OF AGGLOMERATES OF WOOD AND RESIN PARTICLES IN THE MANUFACTURE OF OSB.** Monograph of Specialization in Reliability Engineering of Academic Department of Electrical Engineering at Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2015.

Analyzed the process conditions of manufacturing of OSB-oriented strand board that contribute to the formation of glomerates of small pieces of wood and resin, using the Design of Experiments Anova, full factorial design, Plackett-Burman, and it is concluded with a level of significance of twenty percent, the lifetime of the phenolic resin is the only condition that influences the formation of agglomerates.

Key Words: DOE; pieces wood; lumps; OSB; glue blender.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 Condições de Processo Geradoras de "aglomerados" .....	2
Tabela 2 Delineamento Plackett-Burman .....	9
Tabela 3 Tratamentos do Delineamento Fracionado Plackett-Burman - 4 fatores e 2 níveis .....	10
Tabela 4 Valores do Experimento Fracionado Plackett-Burman com 4 fatores e 2 níveis .....	11
Tabela 5 Resultado do Experimento Fracionado Plackett-Burman com 4 fatores e 2 níveis .....	12
Tabela 6 Resumo da análise do delineamento Fracionado Plackett-Burman com 4 fatores e 2 níveis .....	14

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Camada de lascas e a entrada da prensa .....	1
Figura 2 Manta de lascas depois de prensada e produto OSB .....	2
Figura 3 Paradas de produção e a incidência de “aglomerados” .....	5
Figura 4 Resultado do delineamento One Way-Anova para o fator parada de produção .....	5
Figura 5 Resumo da análise do delineamento One Way-Anova para o fator parada de produção .....	6
Figura 6 Dados da temperatura ambiente e incidência de “aglomerados” .....	7
Figura 7 Resultado do delineamento One Way-Anova para a temperatura ambiente .....	7
Figura 8 Resumo da análise do delineamento One Way-Anova para o fator temperatura ambiente.....	8
Figura 9 Tratamentos do delineamento fatorial completo com 2 níveis e 2 fatores .....	17
Figura 10 Tratamentos do Delineamento Fatorial completo com 2 fatores e 2 níveis e 8 replicações .....	18
Figura 11 Valores reais do Delineamento Fatorial completo com 2 fatores e 2 níveis e 8 replicações .....	19
Figura 12 Resultado do Delineamento Fatorial completo com 2 fatores e 2 níveis e 8 replicações .....	20
Figura 13 Resumo da análise do Delineamento Fatorial completo com 2 fatores e 2 níveis e 8 replicações .....	21

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Pareto da Regressão do delineamento Fracionado Plackett-Burman.....	16
Gráfico 2 Gráfico de Pareto da Regressão do Delineamento Fatorial completo com 2 fatores e 2 níveis e 8 replicações.....	22

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Condições geradoras dos “aglomerados” .....	2
3. Delineamento de experimentos. ....	3
3.1. Delineamento com um fator.....	4
3.1.1. Influência da parada de produção. ....	4
3.1.2. Influência da temperatura ambiente.....	6
3.2. Delineamento fatorial fracionado.....	8
3.3. Delineamento com dois fatores.....	16
3.4. Conclusão .....	22
REFERÊNCIAS.....	23



## 1. Introdução

O processo de fabricação de painéis de lascas orientadas, OSB, é realizado na seguinte sequência: colheita das toras de madeira na floresta, transporte, armazenamento na fábrica, em seguida num processo contínuo, tem-se a retirada da casca no descascador, o corte das lascas, a secagem, a mistura das lascas com resina, a formação da manta de lascas, a prensagem em alta temperatura e finalmente o corte e armazenagem do produto final. Entre cada uma das etapas o transporte das lascas é feito por transportadores de correias, ou por transportadores de corrente.

Durante a mistura das lascas com resina surgem “aglomerados”, também chamados de grumos ou nódulos, que são compostos de partículas de madeira e resina, endurecidos e com a forma de pedras. Estes “aglomerados” se alojam dentro da camada de lascas e ao serem prensados danificam partes da prensa. Para que os “aglomerados” não cheguem até a prensa, foram instalados detectores sobre a camada de lascas e quando o aglomerado é detectado, uma parte da camada de lascas que o contém é descartada. Este descarte resulta em uma perda de aproximadamente 1,5 % do total produzido. A Figura 1, no primeiro quadro mostra a manta de lascas sendo transportada e no segundo quadro mostra a camada de lascas entrando na prensa contínua para a prensagem.

**Figura 1 Camada de lascas e a entrada da prensa**



Fonte: autoria própria

A Figura 2, no primeiro quadro mostra a manta de lascas depois de prensada, os outros dois quadros mostram o produto OSB finalizado.

**Figura 2 Manta de lascas depois de prensada e produto OSB**



Fonte: autoria própria

Comparando-se a camada de lascas da Figura 1 e o produto finalizado da Figura 2, pode-se observar que com a prensagem ocorre uma grande redução na espessura da camada. Na prática, havendo a presença de aglomerados de partículas na camada de lascas, este facilmente aparecerá no produto final.

## 2. Condições geradoras dos “aglomerados”

Na fabricação do painel desde o corte das lascas até a formação da camada de lascas, as condições do processo e suas características que podem contribuir na formação dos “aglomerados”, são mostradas na Tabela 1.

**Tabela 1 Condições de Processo Geradoras de "aglomerados"**

Condições do Processo Geradoras de "Aglomerados"		
	Condições	Característica
1	Partículas de madeira resultantes da quebra das lascas	Não Controlável
2	Tempo após a limpeza da encoladora	Controlável
3	Envelhecimento da resina	Controlável
4	Quantidade de atomizadores funcionando	Não Controlável
5	Posição dos atomizadores danificados	Não Controlável
6	Fornecedor da resina	Controlável
7	Porcentagem de resina por quantidade de lascas	Controlável
8	Temperatura ambiente	Não Controlável
9	Parada e partida de produção	Não Controlável
10	Tipo de produto	Controlável
11	Espessura do painel	Controlável

Fonte: autoria própria

Observando-se na Tabela 1, as características das condições geradoras de “aglomerados”, constata-se que algumas delas são inerentes ao processo de fabricação do produto, ou do projeto do equipamento, ou são adversidades do processo que não se tem controle. Por este motivo estudou-se somente a influência na formação dos aglomerados das condições do processo “Tempo após a limpeza da encoladora”, “Envelhecimento da resina”, que podem ser controláveis e alteradas na fabricação de painéis; e também, embora incontroláveis, a “Temperatura ambiente” e a “Parada e partida de produção”.

### **3. Delineamento de experimentos.**

Para o estudo das condições de processo e sua influência na formação de “aglomerados” utilizou-se o método delineamento de experimentos.

“Delineamento de experimentos - DOE é uma abordagem sistemática de experimentação utilizada para investigar como várias entradas (ou fatores) afetam uma saída (ou resposta) de interesse” (Reliability Hotwire, 2015).

Segundo Calegare (2009, p. 31), “Delineamento de experimentos: é o plano formal para conduzir o experimento. Inclui a escolha de fatores, níveis e tratamentos e número de réplicas”.

Através do DOE pode-se investigar de que forma a intensidade de determinada condição do processo contribui na formação dos aglomerados, se em uma baixa ou em uma alta intensidade desta condição a quantidade gerada de aglomerados será maior ou menor. A intensidade da condição durante o experimento será chamada de nível, desta maneira, intensidade baixa da condição será citada como nível baixo da condição.

Para todos os experimentos considerou-se como “hipótese nula,  $H_0$ , isto é, a hipótese que está sendo testada” (Calegare, 2009), que  $\beta_1 = 0$ , que seria a condição do processo estudada que não influencia no resultado do experimento, com um nível de confiança de 80 % ou 0,8, ou em outras palavras, uma significância de 20 % ou 0,2. O nível de confiança de 80 %, quer dizer que existe a probabilidade de 80 % que a condição não influencia no resultado. A significância de 20 % representa a probabilidade de um erro de até 20% que a condição influencia, ou não, no resultado. Normalmente no DOE usa-se um nível de confiança de 90 %, porém como existem alguns fatores, como, por exemplo, a quantidade de partículas geradas, que não se tem controle optou-se por adotar um nível de confiança de 80 %.

O valor da significância é utilizado para verificar se a probabilidade de ocorrência do valor calculado no teste estatístico é maior que a confiança desejável (CARVALHO NETO, 2013).

Ao estudar cada uma das condições do processo se procurará saber se ela ou a interação entre elas influenciam no resultado, isto é se elas influenciam na incidência de “aglomerados”.

Para simplificar a experiência, se manteve algumas condições do processo constantes para que as suas variações não contribuíssem para o resultado, então, estudou-se a formação de “aglomerados” na fabricação do produto Tapume na espessura de 8 mm, com quantidade de resina de 4% em relação a quantidade de lascas, com a resina do fornecedor Momentive, e sem nenhum atomizador danificado, eliminando desta forma como variáveis, as condições do processo 4, 5, 6, 7, 10 e 11 da Tabela 1. Como não se tem controle sobre a quantidade de partículas formadas no processo, não se pode investigar a condição 1, partículas de madeira resultantes da quebra de lascas.

### **3.1. Delineamento com um fator.**

A One Way-Anova é um delineamento de experimento que investiga se um determinado e único fator influencia na resposta. Para se ter maior precisão na resposta, na análise de um determinado fator é importante que os outros fatores sejam mantidos sem variações. Desta maneira se garantirá que as alterações na resposta sejam resultantes unicamente da variação do fator analisado. Com este delineamento pode-se investigar de forma isolada, em diferentes níveis, cada uma das condições do processo e verificar se ela contribui significativamente na incidência de “aglomerados”.

#### **3.1.1. Influência da parada de produção.**

Para a análise da influência da parada de produção na incidência de “aglomerados”, utilizou-se o delineamento One Way-Anova com três níveis.

Foram coletados os valores da incidência de “aglomerados”, nas amostras em que a condição temperatura ambiente teve uma variação máximo de 3 °C. As outras condições do processo foram mantidas constantes para não influenciarem no resultado. Com exceção do fator “Partículas de madeira resultantes da quebra das lascas” que não se tem controle.

A figura 3 mostra a quantidade de paradas de produção e a incidência de “aglomerados”, coletados em intervalos de uma hora de produção. Na última coluna está a divisão dos níveis das quantidades de paradas consideradas no delineamento, isto é, o nível 1 equivale a 0 paradas de produção, o nível 2 a 1 parada e o nível 3 a 2 paradas.

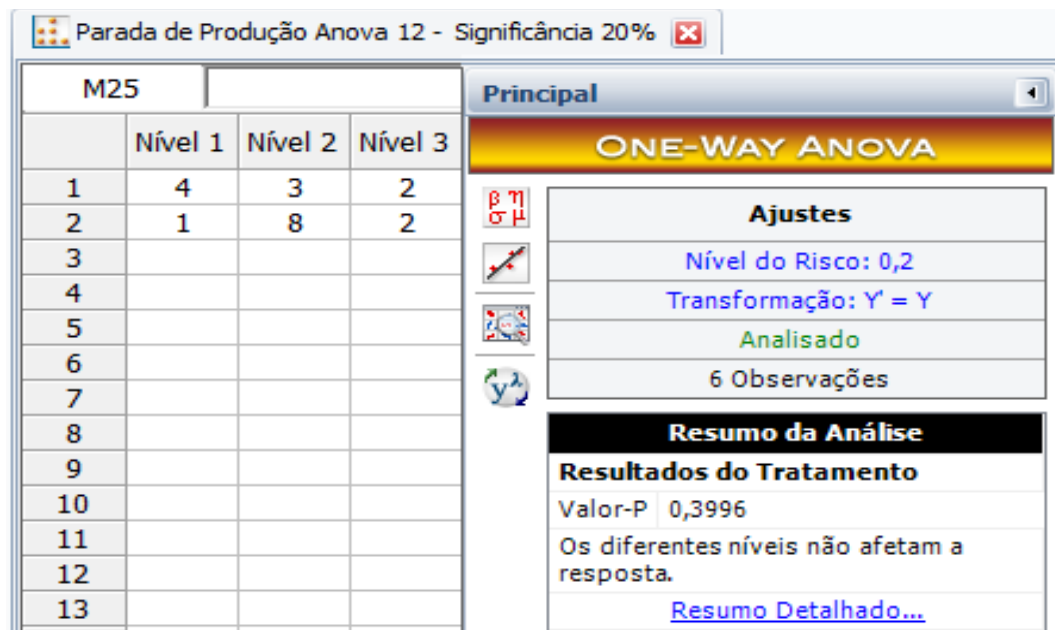
**Figura 3 Paradas de produção e a incidência de “aglomerados”**

Parada	Aglomer.	Nível
0	4	1
0	1	
1	3	2
1	8	
2	2	3
2	2	

Fonte: autoria própria

O resultado da análise, mostrado na figura 4, mostra que a parada da linha de produção não tem influência na formação de “aglomerados”.

**Figura 4 Resultado do delineamento One Way-Anova para o fator parada de produção**



Fonte: autoria própria, usado o módulo DOE++ do software da Reliasoft Synthesis (2015)

**Figura 5** Resumo da análise do delineamento One Way-Anova para o fator parada de produção

<b>Resposta: Um caminho ANOVA</b>						
<b>Fólio: Parada de Produção Anova 12 - Significância 20%</b>						
<b>Base do Tipo de Projeto: ANOVA de Um Modo</b>						
<b>Analisado em 16/02/2015 00:27:48</b>						
<b>Tabela ANOVA</b>						
Tabela ANOVA						
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Relação F	Valor P	
Tratamento	2	14,3333	7,1667	1,2647	0,3996	
ERRO	3	17	5,6667			
Total	5	31,3333				
S = 2,3805						
R-sq = 45,7447%						
<b>Resumo de Dados</b>						
Resumo de Dados						
Nível do Fator	Número do Nível	Média Estimada	Desvio Padrão			
Nível 1	2	2,5	2,1213			
Nível 2	2	5,5	3,5355			
Nível 3	2	2	0			
<b>Média de Comparação</b>						
Média de Comparação						
Contraste	Diferença Média	Erro padrão agrupado	Baixa Confiança	Confiança Elevada	Valor T	Valor P
Nível 1 - Nível 2	-3	2,3805	-6,8986	0,8986	-1,2603	0,2967
Nível 1 - Nível 3	0,5	2,3805	-3,3986	4,3986	0,21	0,8471
Nível 2 - Nível 3	3,5	2,3805	-0,3986	7,3986	1,4703	0,2378

Fonte: autoria própria, usado o módulo DOE++ do software da Reliasoft Synthesis (2015)

A figura 5 apresenta o resumo da análise do delineamento, e se verifica que no tratamento realizado, para investigar a influência da condição do processo parada de produção, o Valor P ficou igual a 0,3996 que é maior que a significância de 0,2 adotada no experimento, confirmando a hipótese nula  $H_0$ , e concluindo-se que a parada de produção não influencia incidência de “aglomerados”.

### 3.1.2. Influência da temperatura ambiente.

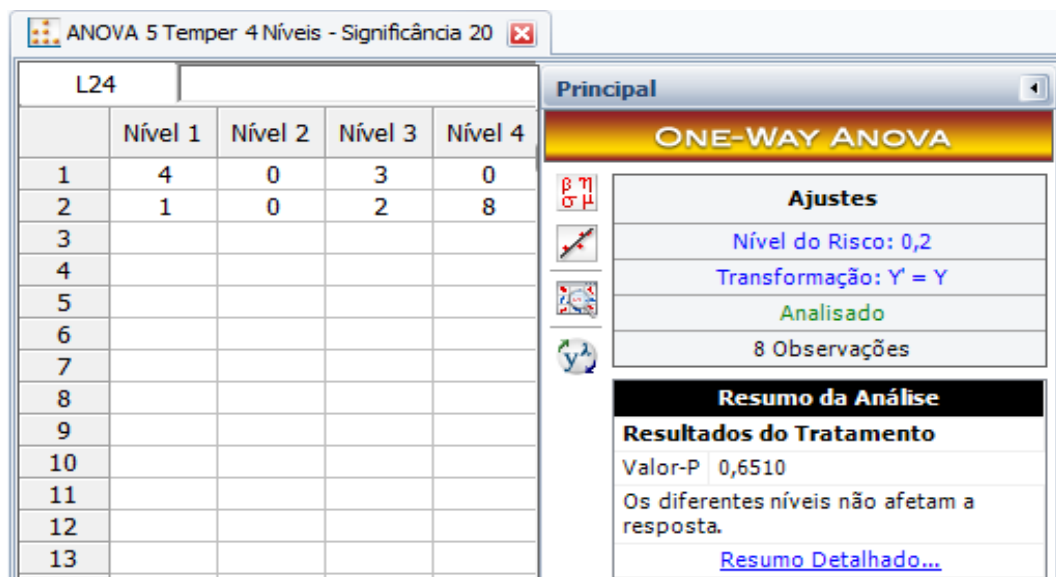
A Figura 6 abaixo apresenta os valores da temperatura ambiente e a incidência de “aglomerados”, coletados em intervalos de uma hora; a última coluna mostra os níveis de temperatura considerados para a aplicação do delineamento One Way-Anova comentado anteriormente.

**Figura 6 Dados da temperatura ambiente e incidência de “aglomerados”**

Temperatura ambiente	Incidência de aglomerados	Níveis
20	4	1
20	1	
25	0	2
25	0	
26	3	3
27	2	
28	0	4
28	8	

Fonte: autoria própria

**Figura 7 Resultado do delineamento One Way-Anova para a temperatura ambiente**



Fonte: autoria própria, usado o módulo DOE++ do software da Reliasoft Synthesis (2015)

O resumo da análise na Figura 7, e também a Tabela Anova da Figura 8, mostram que a temperatura tem um valor de P igual a 0,6510 que é maior que o nível de significância de 0,2, e confirma a afirmação da hipótese nula  $H_0$  que esta condição não influencia na formação de “aglomerados”.



**Figura 8 Resumo da análise do delineamento One Way-Anova para o fator temperatura ambiente**

<b>Resposta: Um caminho ANOVA</b>						
<b>Fólio: ANOVA 5 Temper 4 Níveis - Significância 20</b>						
<b>Base do Tipo de Projeto: ANOVA de Um Modo</b>						
<b>Analisado em 16/02/2015 00:46:24</b>						
<b>Tabela ANOVA</b>						
Tabela ANOVA						
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Relação F	Valor P	
Tratamento	3	16,5	5,5	0,5946	0,651	
ERRO	4	37	9,25			
Total	7	53,5				
S = 3,0414						
R-sq = 30,8411%						
<b>Resumo de Dados</b>						
Resumo de Dados						
Nível do Fator	Número do Nível	Média Estimada	Desvio Padrão			
Nível 1	2	2,5	2,1213			
Nível 2	2	0	0			
Nível 3	2	2,5	0,7071			
Nível 4	2	4	5,6569			
<b>Média de Comparação</b>						
Média de Comparação						
Contraste	Diferença Média	Erro padrão agrupado	Baixa Confiança	Confiança Elevada	Valor T	Valor P
Nível 1 - Nível 2	2,5	3,0414	-2,1631	7,1631	0,822	0,4573
Nível 1 - Nível 3	0	3,0414	-4,6631	4,6631	0	1
Nível 1 - Nível 4	-1,5	3,0414	-6,1631	3,1631	-0,4932	0,6477
Nível 2 - Nível 3	-2,5	3,0414	-7,1631	2,1631	-0,822	0,4573
Nível 2 - Nível 4	-4	3,0414	-8,6631	0,6631	-1,3152	0,2588
Nível 3 - Nível 4	-1,5	3,0414	-6,1631	3,1631	-0,4932	0,6477

Fonte: autoria própria, usado o módulo DOE++ do software da Reliasoft Synthesis (2015)

### 3.2. Delineamento fatorial fracionado.

Segundo Calegare (2009, p. 32), o delineamento Fatorial é recomendado quando se está interessado em estudar os efeitos de dois ou mais fatores, em vários níveis, e pode existir interação entre os fatores.

O Delineamento Fatorial Fracionado com dois níveis é uma categoria do Fatorial, que tem a vantagem de requerer poucas execuções, embora tenha alguma perda de informações referentes às interações entre os fatores (CARVALHO NETO, 2013).

Para se investigar de forma mais rápida a influência das condições restantes, 2, 3, 8 e 9 da Tabela 1, na formação de “aglomerados” será utilizado o delineamento fatorial fracionado.

Para ser ainda mais rápido, se usará o Delineamento Fracionado *Plackett-Burman*, onde poucas execuções e especificamente escolhidas são realizadas apenas para investigar os efeitos principais (CARVALHO NETO, 2013)



Para a investigação das 4 condições serão necessárias  $k+1$  execuções, onde  $k$  é o número de fatores ou condições, então,  $4 + 1 = 5$ , e serão necessárias 5 execuções. O quadrado vermelho na Tabela 2 apresenta os tratamentos necessários para a execução do experimento com 4 fatores ou as 4 condições do processo.

O tratamento define em quais níveis devem estar cada fator ou condição durante as execuções do experimento para a obtenção dos resultados. Cada execução deve seguir os níveis das condições determinados no tratamento. O quadro vermelho da Tabela 2 mostra na coluna Run os 5 tratamentos necessários, e em quais níveis deverão estar as quatro condições estudadas, representadas pelas letras A, B, C, D, durante a execução. Nas colunas A, B, C e D, o número 1 representa que a condição deve estar em um nível alto e o número -1 representa que a condição deve estar em um nível baixo. Observando-se a Tabela 2 na execução do tratamento número 1, as condições A, B e D devem estar em um nível alto enquanto a condição C deve estar em um nível baixo.

**Tabela 2 Delineamento Plackett-Burman**

Run	Factors											
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	
1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	
2	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	
3	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	
4	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	
5	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	
6	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	
7	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	
8	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	
9	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	
10	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	
11	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	
12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	

Fonte: Fonte: Carvalho Neto (2013, p.255)

Refazendo-se a execução de um tratamento tem-se a replicação do tratamento. Segundo Calegare (2009, p. 31), réplicas são as repetições de um experimento executadas nas mesmas condições experimentais.

A média dos resultados das replicações permite a obtenção de uma estimativa mais precisa do resultado deste tratamento.

Para maior exatidão se fará 4 replicações dos tratamentos das condições formadoras de aglomerados no delineamento fracionado *Plackett-Burman*. Os níveis das condições em cada tratamento deste delineamento estão representadas na Tabela 3 conforme o módulo DOE++ do software da Reliasoft Plataforma Synthesis. Na Tabela 3 as colunas “A:Parada”, B:Temperatura, C:EnveResi e D:Limpeza, representam respectivamente os níveis das condições “Parada e partida de produção”, “Temperatura ambiente”, “Envelhecimento da resina” e “Tempo após a limpeza da encoladora”.

**Tabela 3 Tratamentos do Delineamento Fracionado Plackett-Burman - 4 fatores e 2 níveis**

	A:Parada	B:Temperatura	C:EnveResi	D:Limpeza
1	1	-1	-1	1
2	1	1	1	-1
3	1	1	-1	1
4	-1	-1	-1	-1
5	-1	-1	-1	-1
6	1	1	1	-1
7	1	1	-1	1
8	-1	1	1	1
9	1	1	-1	1
10	-1	1	-1	-1
11	1	-1	1	-1
12	-1	1	-1	-1
13	-1	-1	1	1
14	-1	-1	-1	-1
15	1	-1	-1	1
16	1	-1	1	-1
17	-1	-1	1	1
18	1	1	1	-1
19	-1	-1	1	1
20	-1	1	-1	-1
21	-1	1	1	1
22	-1	1	-1	-1
23	1	-1	-1	1
24	1	1	1	-1
25	-1	-1	-1	-1
26	1	-1	1	-1
27	1	1	-1	1
28	1	-1	1	-1
29	1	-1	-1	1
30	-1	1	1	1
31	-1	-1	1	1
32	-1	1	1	1

Fonte: autoria própria

A Tabela 4 mostra o delineamento com os valores reais de cada tratamento do experimento.

**Tabela 4 Valores do Experimento Fracionado Plackett-Burman com 4 fatores e 2 níveis**

	A:Parada	B:Temperatura	C:EnveResi	D:Limpeza	Aglomer <input checked="" type="checkbox"/>
1	1	17	3	8	1
2	1	25	10	2	10
3	3	31	2	9	3
4	0	16	3	3	8
5	0	17	3	3	2
6	1	24	7	4	3
7	1	31	2	9	5
8	0	26	12	6	2
9	1	31	2	9	8
10	0	25	1	1	0
11	1	18	11	4	5
12	0	26	1	1	0
13	0	18	13	5	15
14	0	15	1	4	4
15	1	16	3	8	0
16	1	18	12	4	4
17	0	18	13	5	11
18	1	21	11	4	2
19	0	17	13	5	6
20	0	24	2	3	1
21	0	26	12	6	0
22	0	25	2	3	5
23	1	16	3	8	0
24	1	19	11	4	5
25	0	14	1	4	3
26	1	18	13	5	2
27	2	31	2	9	5
28	2	18	13	5	1
29	1	18	2	9	1
30	0	26	13	7	3
31	0	17	13	5	3
32	0	26	13	7	2

Fonte: autoria própria

A tabela 5 mostra o resultado do experimento, e no quadro Resumo da Análise se vê que fator “Envelhecimento da resina” influencia na formação de “aglomerados” de forma significativa.

Tabela 5 Resultado do Experimento Fracionado Plackett-Burman com 4 fatores e 2 níveis

Plackett-Burman- 4 fatores_1					
E32		2			
	A:Parada	B:Temperatura	C:EnveResi	D:Limpeza	Aglomer
1	1	17	3	8	1
2	1	25	10	2	10
3	3	31	2	9	3
4	0	16	3	3	8
5	0	17	3	3	2
6	1	24	7	4	3
7	1	31	2	9	5
8	0	26	12	6	2
9	1	31	2	9	8
10	0	25	1	1	0
11	1	18	11	4	5
12	0	26	1	1	0
13	0	18	13	5	15
14	0	15	1	4	4
15	1	16	3	8	0
16	1	18	12	4	4
17	0	18	13	5	11
18	1	21	11	4	2
19	0	17	13	5	6
20	0	24	2	3	1
21	0	26	12	6	0
22	0	25	2	3	5
23	1	16	3	8	0
24	1	19	11	4	5
25	0	14	1	4	3
26	1	18	13	5	2
27	2	31	2	9	5
28	2	18	13	5	1
29	1	18	2	9	1
30	0	26	13	7	3
31	0	17	13	5	3
32	0	26	13	7	2

Principal	
STANDARD DESIGN	
<b>Resposta</b>	
Aglomer	
<b>Ajustes</b>	
SS Parcial	Termos Agrupados
Nível do Risco: 0,2	
Transformação: Y' = Y	
Analisado	
32 Observações	
<b>Resumo da Análise</b>	
<b>Termos Significantes</b>	
<b>Termo</b>	<b>Coefficiente</b>
C:EnveResi	0,0877
<a href="#">Resumo Detalhado...</a>	
<b>Avaliação do Projeto</b>	
<b>Carga do Estudo</b>	
Efeitos Principais	0,9879
<a href="#">Resultados Detalhados</a>	

Fonte: autoria própria

A tabela 5 nos mostra o resumo da análise do delineamento realizado e na tabela de regressão pode-se ver os valores de P das 4 condições do processo analisadas; nela observamos que as condições “parada de produção”, “temperatura ambiente” e “limpeza da encoladora” tiveram os valores de P igual a 0,7493, 0,7497 e 0,8787 respectivamente, todos os valores acima da significância de 0,2, e desta forma confirmam a hipótese nula de que tais condições do processo não influenciam no resultado do experimento. A condição do processo “envelhecimento da resina” obteve o valor de P igual a 0,1859, que é um valor abaixo do nível de significância de 0,2, rejeitando assim a hipótese nula e demonstrando que esta condição influencia no resultado do experimento, isto é na formação dos aglomerados.

O valor P é a probabilidade de ocorrência de valores do teste estatístico tão igual quanto o obtido a partir da amostra ou mais desfavorável para  $H_0$  do que o obtido a partir da amostra. O Valor P é o menor nível de significância que levaria à rejeição da hipótese nula,  $H_0$ , para o valor dado do teste estatístico. O valor do teste estatístico é referido como significativo quando  $H_0$  é rejeitada. Quando o valor P é menor que a significância  $\alpha$  o teste estatístico é significativo e  $H_0$  é rejeitada (RELIAWIKI, 2015).

Observando-se a tabela de regressão da tabela 5.5, na coluna Coeficientes temos os coeficientes da equação que determina a formação dos aglomerados em função das variáveis condições do processo, “parada de produção”, “temperatura ambiente”, “limpeza da encoladora” e “envelhecimento da resina”. Observando-se os sinais dos coeficientes vemos que o “envelhecimento da resina” tem um coeficiente positivo na equação, indicando que a formação de aglomerados é diretamente proporcional a esta condição do processo, assim quanto maior o envelhecimento da resina maior a formação de aglomerados. Como queremos menos aglomerados devemos manter um menor envelhecimento da resina possível.

Pode-se observar na Tabela 6 um valor de P para a Falta de ajuste igual a 0,0276, menor que a significância de 0,2, o que representa que os valores da amostra se ajustaram bem a regressão estimada no delineamento.

**Tabela 6 Resumo da análise do delineamento Fracionado Plackett-Burman com 4 fatores e 2 níveis**

<b>Resposta: Aglomer</b>							
<b>Fólio: Plackett-Burman- 4 fatores_1</b>							
<b>Base do Tipo de Projeto: Fatorial Plackett-Burman</b>							
<b>Analisado em 14/02/2015 19:06:08</b>							
<b>Tabela ANOVA</b>							
<b>Tabela ANOVA</b>							
<b>Fonte de Variação</b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>Soma dos Quadrados [Parcial]</b>	<b>Média dos Quadrados [Parcial]</b>	<b>Relação F</b>	<b>Valor P</b>		
Modelo	4	28,6029	7,1507	0,5402	0,7075		
Efeitos Principais	4	28,6029	7,1507	0,5402	0,7075		
Resíduo	27	357,3971	13,2369				
<b>Falta de ajuste</b>	21	337,8971	16,0903	4,9509	<b>0,0276</b>		
Erro Puro	6	19,5	3,25				
Total	31	386					
S = 3,6383							
R-sq = 7,41%							
R-sq(adj) = 0%							
<b>Tabela de Regressão</b>							
<b>Informação da Regressão</b>							
<b>Termo</b>	<b>Efeito</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>Baixa Confiança</b>	<b>Confiança Elevada</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor P</b>
Intercepção		1,8468	3,3241	-2,5201	6,2136	0,5556	0,5831
A:Parada	-0,3264	-0,1632	0,5064	-0,8284	0,502	-0,3223	0,7497
B:Temperatura	0,0422	0,0211	0,0653	-0,0647	0,1069	0,3228	0,7493
<b>C:EnveResi</b>	0,1753	0,0877	0,0646	0,0028	0,1725	1,3574	<b>0,1859</b>
D:Limpeza	-0,0488	-0,0244	0,1583	-0,2323	0,1836	-0,154	0,8787

Fonte: autoria própria

Uma alternativa para testar a significância do experimento é utilizar o valor T.

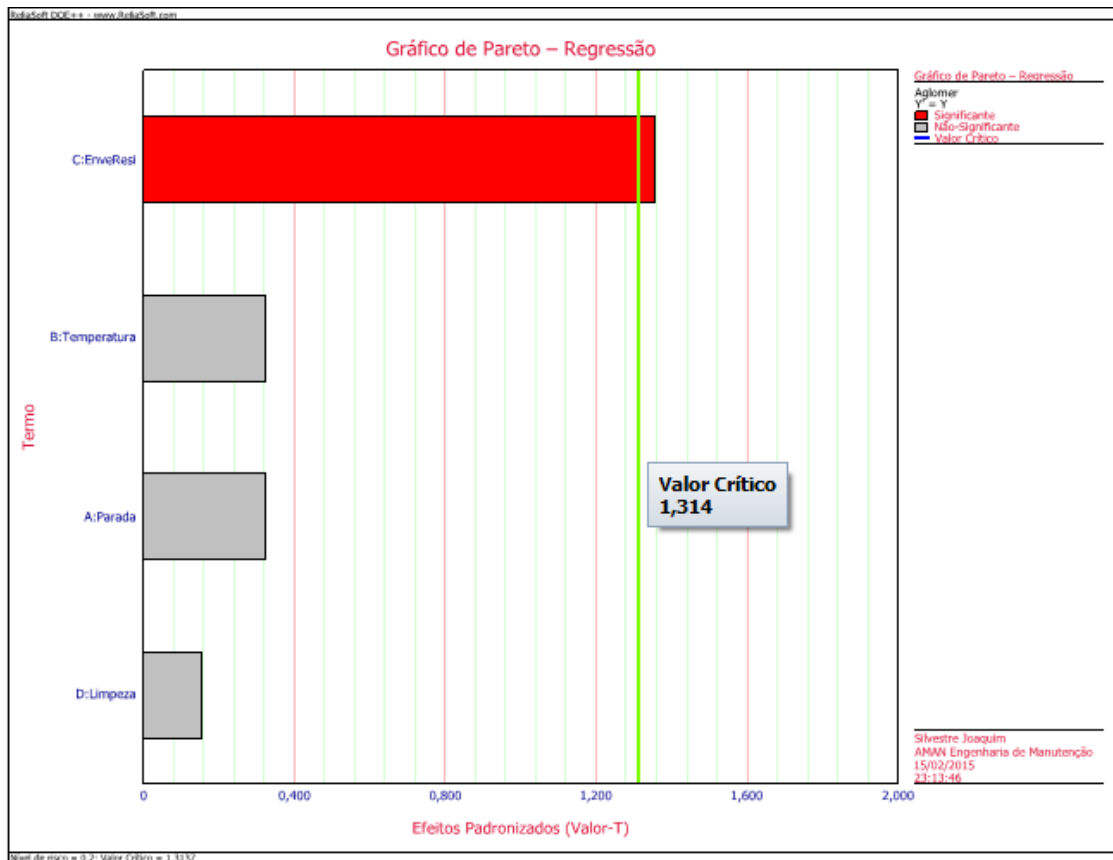
O teste estatístico t é uma alternativa para o modelo ANOVA para testar a significância da regressão. Em vez de utilizar a estatística baseada na divisão da variância (ou na Média dos Quadrados), o teste t usa a estatística baseada no erro padrão do coeficiente estimado. O erro padrão do coeficiente é o desvio-padrão da sua estimativa. O teste estatístico a ser usado para este teste é baseada na distribuição t (student) (CARVALHO NETO, 2013).

Em vez de usarmos o valor da significância, normalmente representada pela letra  $\alpha$ , para verificar se o fator é significativo, usamos o valor t crítico, da distribuição de student, que é função do grau de liberdade e do valor da significância.

O gráfico1 mostra de Pareto dos valores de T, da distribuição de student, das condições de processo analisadas e as compara com o valor crítico da distribuição para verificar a significância da condição na formação de “aglomerados”. Pode-se ver no gráfico que as condições “parada de produção”, “temperatura ambiente” e “limpeza da encoladora” têm o valor de T menor que o valor de t crítico de 1,314, demonstrando que estão dentro do nível de confiança da hipótese nula  $H_0$  e evidenciando que tais condições não influenciam no resultado. O valor t crítico foi calculado com base no nível de confiança igual a 0,2 e o grau de liberdade igual a 4. O grau de liberdade é igual ao número de tratamentos menos 1, isto é, 5 menos 1. A condição do processo “envelhecimento da resina” tem o valor de T maior que o valor de T crítico, estando assim fora do nível de confiança da distribuição de student e dentro da significância da distribuição, negando desta forma a afirmação da hipótese  $H_0$  e demonstrando que esta condição influencia no resultado do experimento. Os valores de T para todas as condições do processo estão na coluna Valor T da Tabela de Regressão da Figura 5.5.

As conclusões alcançadas pelo valor de T são as mesmas que se chegou anteriormente analisando o valor de P.

**Gráfico 1 Pareto da Regressão do delineamento Fracionado Plackett-Burman**



Fonte: autoria própria

### 3.3. Delineamento com dois fatores.

As condições “Tempo após a limpeza da encoladora” e o “Envelhecimento da resina”, podem ter alguma interação entre eles, como os métodos One Way Anova e *Plackett-Burman* somente analisam os fatores sem levar em conta as interações, será aplicado então o delineamento fatorial completo.

Segundo Calegare (2009, p. 65), “O experimento fatorial é apropriado quando dois ou mais fatores estão sendo investigados em dois ou mais níveis e a interação entre os fatores pode ser importante”.

Manteve-se como constante a condição “Parada de Produção” no valor zero, embora já se tenha analisado que esta condição não influencia no resultado. A temperatura ambiente teve variação de 17 a 31 °C, no entanto já foi visto que ela não influencia com a significância de 0,2 na formação de “aglomerados”. As outras condições do processo foram mantidas constantes para não influenciarem no resultado. Com exceção das “Partículas de madeira resultantes da quebra das lascas” que não se tem controle. Como se tem dois fatores para



analisar, foi aplicado o delineamento fatorial completo com dois níveis para cada fator, então o número de tratamentos do experimento será igual ao número de níveis do primeiro fator multiplicado pelo número de níveis do segundo fator, isto é  $2 \times 2$ , que será igual a 4 tratamentos. A figura 9 apresenta os quatro tratamentos, sem replicações, e como devem estar, em cada tratamento, os níveis máximos e mínimos dos fatores A e B, que no nosso caso representam as condições “Tempo após a limpeza da encoladora” e o “Envelhecimento da resina”.

**Figura 9** Tratamentos do delineamento fatorial completo com 2 níveis e 2 fatores



Fatores	
<i>A</i>	<i>B</i>
-1	-1
1	-1
-1	1
1	1

Fonte: autoria própria

Foi aplicado o delineamento do experimento com dois fatores e dois níveis, e com oito replicações. O módulo DOE++ do software Reliasoft Plataforma Synthesis utilizado determinou os tratamentos do delineamento com as replicações conforme a figura 10.

Os valores reais dos tratamentos do delineamento estão registrados na figura 11.

**Figura 10** Tratamentos do Delineamento Fatorial completo com 2 fatores e 2 níveis e 8 replicações

Envelhecimento Resina 	Pós Limpeza 
-1	-1
1	1
1	-1
-1	-1
1	-1
1	-1
1	1
1	-1
-1	1
-1	-1
-1	-1
1	1
-1	1
-1	1
-1	1
1	-1
-1	-1
1	1
-1	-1
-1	-1
1	1
-1	1
1	1
1	1
-1	1
1	-1
-1	1
-1	-1
1	1
1	-1

Fonte: autoria própria; usado o módulo DOE++ do software Reliasoft Synthesis (2015)

Tabela 13 – Valores reais do Delineamento Fatorial completo com 2 fatores e 2 níveis e 8 replicações

**Figura 11 Valores reais do Delineamento Fatorial completo com 2 fatores e 2 níveis e 8 replicações**

Envelhecimento Resina	Pós Limpeza	Incidência Aglomerados
1	1	3
11	4	2
9	1	7
1	1	0
9	1	7
9	1	2
11	4	7
10	2	10
2	7	2
1	1	4
1	1	1
11	4	4
2	7	8
2	7	6
2	8	0
10	2	1
1	1	0
11	4	5
1	1	0
1	3	3
13	5	10
2	8	5
6	2	4
2	9	1
13	5	11
13	5	6
2	9	2
6	2	2
2	9	1
2	3	1
13	5	3
6	3	2

Fonte: autoria própria, usado o módulo DOE++ do software Reliasoft Synthesis (2015)

A Figura 12 mostra o resultado do delineamento, o quadro Resumo da Análise apresenta a conclusão que a condição “Envelhecimento da resina” é significativa no resultado.

A Figura 13 apresenta o resumo da análise do delineamento fatorial, e a Tabela de Regressão mostra o valor de P da condição “Envelhecimento da Resina” igual a 0,1251, que é um número menor que a significância de 0,2, contrariando a afirmação da hipótese nula H0 e demonstrando que esta condição influencia no resultado.

Na coluna coeficiente da tabela de regressão verificamos o coeficiente do fator envelhecimento da resina é igual +0,4018, este valor positivo representa que o resultado do experimento é diretamente proporcional ao valor deste fator. Como para a empresa é melhor que a quantidade de “aglomerados” seja pequena, o valor do fator deverá ser colocado no menor nível do experimento para obtermos um melhor resultado.

**Figura 12 Resultado do Delineamento Fatorial completo com 2 fatores e 2 níveis e 8 replicações**

Fatorial Completo com Dois Fatores - Sgnificância 20			
C32	2		
	A:Envelhecimento Resina	B:Pós limpeza	Incidência Aglomerados
7	11	4	7
8	10	2	10
9	2	7	2
10	1	1	4
11	1	1	1
12	11	4	4
13	2	7	8
14	2	7	6
15	2	8	0
16	10	2	1
17	1	1	0
18	11	4	5
19	1	1	0
20	1	3	3
21	13	5	10
22	2	8	5
23	6	2	4
24	2	9	1
25	13	5	11
26	13	5	6
27	2	9	2
28	6	2	2
29	2	9	1
30	2	3	1
31	13	5	3
32	6	3	2

Principal	
STANDARD DESIGN	
<b>Resposta</b>	
Incidência Aglomerados	
<b>Ajustes</b>	
SS Parcial	Termos Agrupados
Nível do Risco: 0,2	
Transformação: Y = Y	
Analisado	
32 Observações	
<b>Resumo da Análise</b>	
<b>Termos Significantes</b>	
Termo	Coefficiente
A:Envelhecimento Resina	0,4018
<a href="#">Resumo Detalhado...</a>	
<b>Avaliação do Projeto</b>	
<b>Carga do Estudo</b>	
Efeitos Principais	1,0000
2-Caminho de	1,0000

Fonte: autoria própria, usado o módulo DOE++ do software Reliasoft Synthesis (2015)

**Figura 13** Resumo da análise do Delineamento Fatorial completo com 2 fatores e 2 níveis e 8 replicações

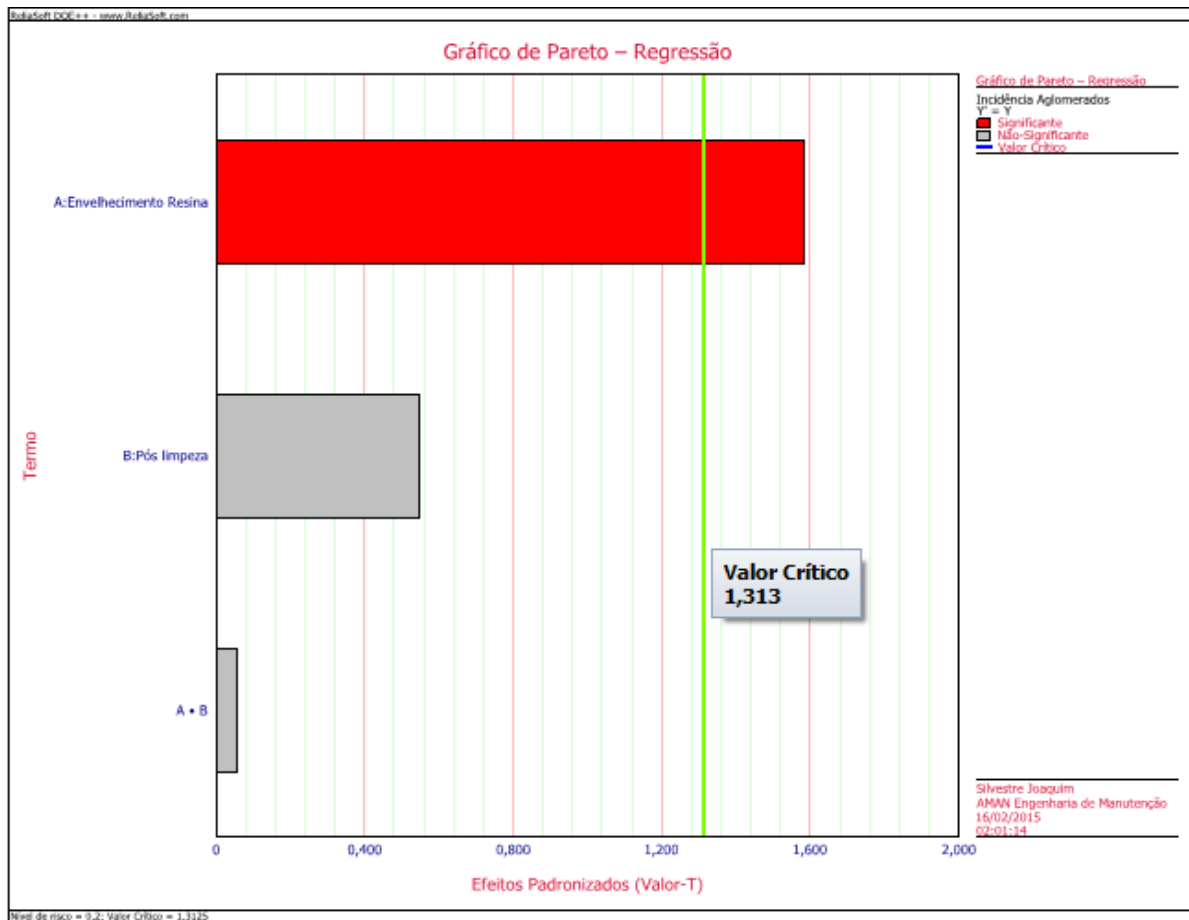
<b>Resposta: Incidência Aglomerados</b>						
<b>Fólio: Fatorial Completo com Dois Fatores - Sgnificância 20</b>						
<b>Base do Tipo de Projeto: Fatorial Geral Completo</b>						
<b>Analisado em 16/02/2015 01:22:39</b>						
<b>Tabela ANOVA</b>						
Tabela ANOVA						
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados [Parcial]	Média dos Quadrados [Parcial]	Relação F	Valor P	
Modelo	3	100,9628	33,6543	4,5515	0,0102	
Efeitos Principais	2	22,6731	11,3366	1,5332	0,2334	
2-Caminho de Interações	1	0,0255	0,0255	0,0034	0,9536	
Resíduo	28	207,0372	7,3942			
Falta de ajuste	8	46,7038	5,838	0,7282	0,6656	
Erro Puro	20	160,3333	8,0167			
Total	31	308				
S = 2,7192						
R-sq = 32,78%						
R-sq(adj) = 25,58%						
<b>Tabela de Regressão</b>						
Informação da Regressão						
Termo	Coefficiente	Erro Padrão	Baixa Confiança	Confiança Elevada	Valor T	Valor P
Intercepção	0,9377	1,3542	-0,8398	2,7151	0,6924	0,4944
A:Envelhecimento Resina	0,4018	0,2541	0,0682	0,7354	1,5811	0,1251
B:Pós limpeza	0,1401	0,2568	-0,197	0,4772	0,5454	0,5898
A • B	-0,0035	0,0592	-0,0812	0,0742	-0,0587	0,9536

Fonte: autoria própria, usado o módulo DOE++ do software Reliasoft Synthesis (2015)

O gráfico de Pareto dos valores de T, da distribuição de student, das condições de processo analisadas e as compara com o valor crítico da distribuição para verificar a significância da condição na formação de “aglomerados”. Pode-se ver no gráfico que a condição “Limpeza da encoladora” e o termo “A\*B” que representa a interação entre as condições “limpeza da encoladora” e “envelhecimento da resina”, têm o valor de T menor que o valor de t crítico de 1,313, demonstrando que estão dentro do nível de confiança da hipótese nula H0 e evidenciando que tais condições não influenciam no resultado. A condição do processo “envelhecimento da resina” tem o valor de T maior que o valor de T crítico, estando assim fora do nível de confiança da distribuição de student e dentro da significância da distribuição, negando desta forma a afirmação da hipótese H0 e demonstrando que esta condição influencia no resultado do experimento. Os valores de T para todas as condições do processo estão na coluna Valor T da Tabela de Regressão da Figura 15.

As conclusões alcançadas pelo valor de T são as mesmas que se chegou anteriormente analisando o valor de P.

**Gráfico 2 Gráfico de Pareto da Regressão do Delineamento Fatorial completo com 2 fatores e 2 níveis e 8 replicações**



### 3.4. Conclusão

As quatro condições do processo que poderiam influenciar na formação dos “aglomerados” de partículas de madeira e resina, foram analisadas utilizando-se os delineamentos de experimentos Anova, fatorial completo e *Plackett-Burman* em vários níveis de valores e com diversas replicações, e concluiu-se, com uma significância de 20 %, que somente o tempo de vida resina fenólica influencia na formação e incidência dos “aglomerados” e deve ser colocada no seu nível mínimo do experimento.

## REFERÊNCIAS

CALEGARE, Álvaro José de Almeida. **Introdução ao Delineamento de Experimentos**. 2.ed. São Paulo: Blucher, 2009.

CARVALHO NETO, Miguel Marcelino de. **Delineamento de Experimentos – DOE**. Curitiba: UTFPR, 2013. 126 p

RELIABILITY HOTWIRE. **Determining Significant Effects in 2k Designs with a Single Replicate**. Disponível em < <http://www.weibull.com/hotwire/issue113/relbasics113.htm>>. Acesso em: 02 jan. 2015.

RELIAWIKI. **Statistical Background on DOE**, 2015. Disponível em <[http://reliawiki.org/index.php/Statistical\\_Background\\_on\\_DOE](http://reliawiki.org/index.php/Statistical_Background_on_DOE)>. Acesso em: 02 jan. 2015.