

3

Descrição do Processo e Análises Preliminares

O caso estudado foi um dos processos de uma empresa de cosméticos, situada em Nova Iguaçu, Rio de Janeiro. A indústria fabrica uma diversidade de produtos destinados aos cabelos; a pesquisa restringiu-se a um produto que é composto por uma bisnaga (frasco) com emulsão. Este produto é destinado ao preparo de coloração para tingimento do cabelo. O processo de enchimento das bisnagas é composto por múltiplos canais (bicos), oito bicos de uma enchedora, que enchem num mesmo instante de tempo oito unidades do mesmo produto.

É possível alterar o volume de enchimento de cada canal (bico) separadamente dos demais (ajuste individual), bem como modificar o volume de todos os bicos simultaneamente (ajuste geral). O mecanismo de enchimento somente possibilita ajuste no volume do cilindro dos bicos (volume que será dispensado nos frascos), ou seja, não é possível ajuste direto no peso a ser dispensado nos frascos.

A emulsão, matéria-prima utilizada pela enchedora, é produzida em reatores com capacidade de fabricação de duas toneladas. Depois de fabricada, a emulsão é analisada pelo laboratório, para constatar que atende às especificações de qualidade. Constatada a qualidade da emulsão, ela é transferida para o tanque de armazenagem através do sistema de bombas. Depois de estocada, a emulsão está pronta para entrar na linha produtiva, sendo então transferida por gravidade para a máquina de enchimento, que se encarrega de encher os frascos. Por fim, os produtos são encaixotados e empilhados em paletes. O fluxograma na Figura 1 ilustra o processo produtivo.

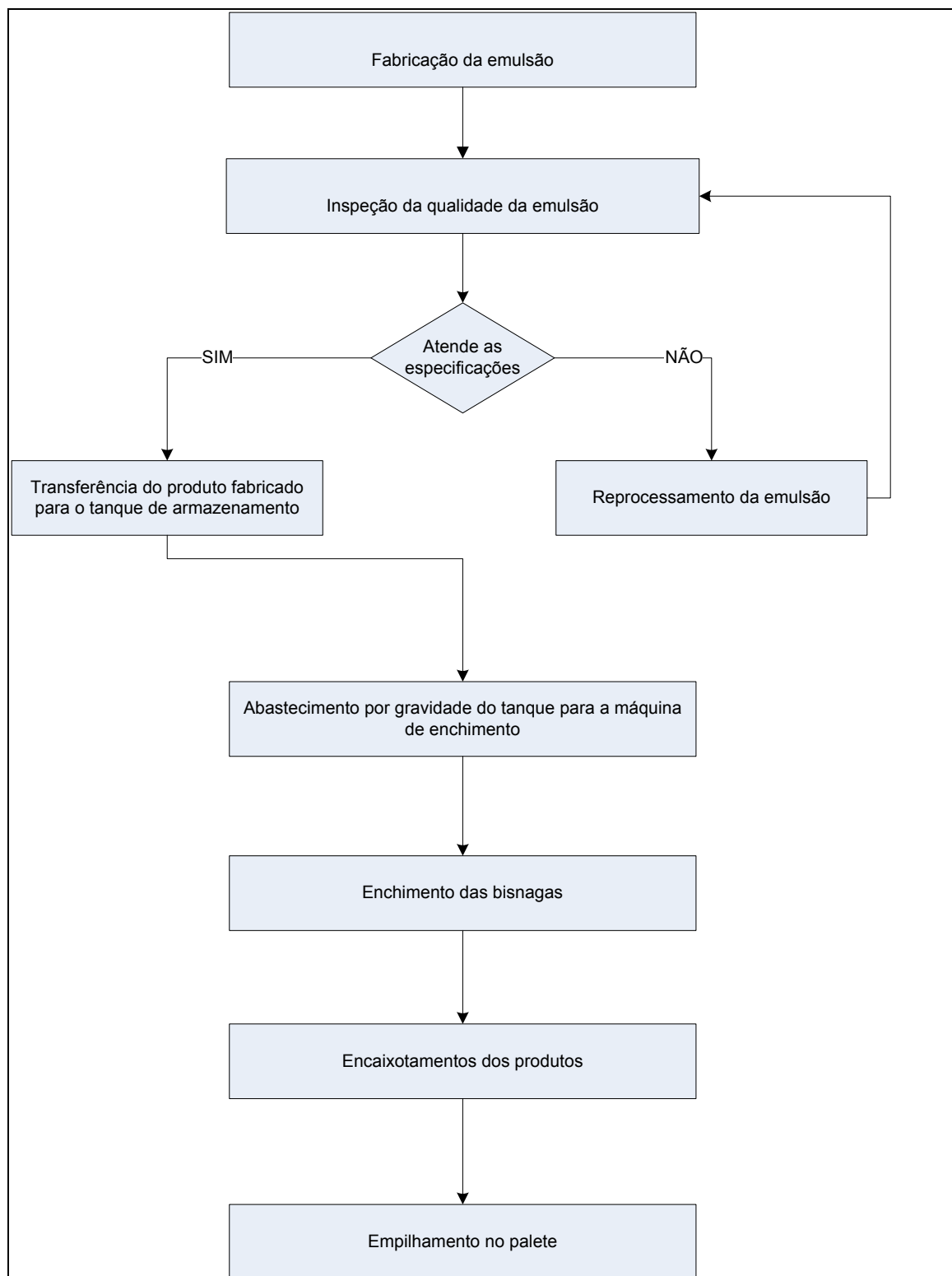


Figura 1 – Processo Produtivo

A Figura 2 ilustra a disposição dos equipamentos e operadores que compõem a linha produtiva.

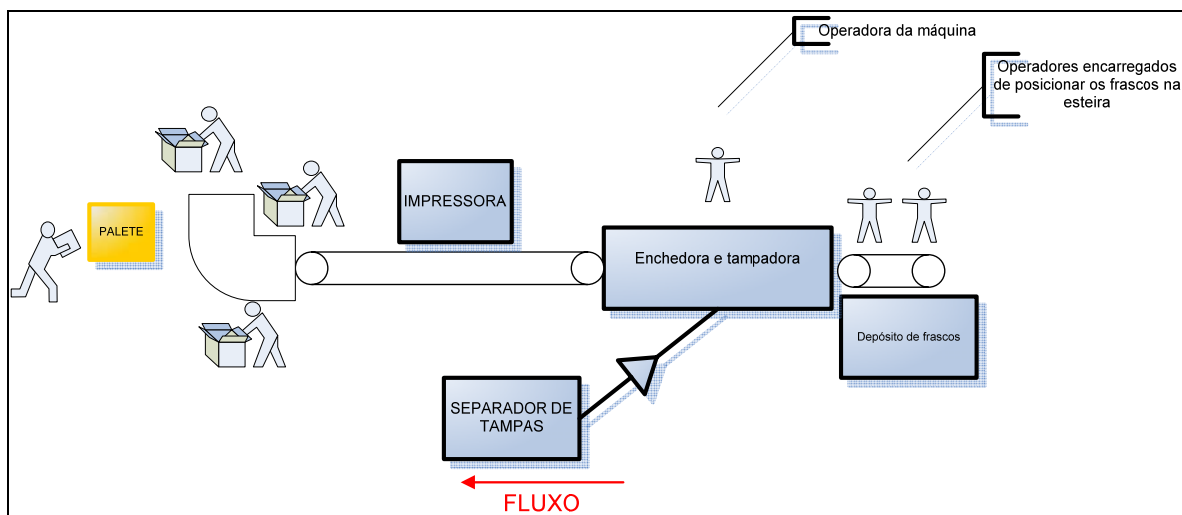


Figura 2 – Linha de Produção

A Figura 3 apresenta a foto da máquina de envase (enchedora) e a Figura 4, a foto do tanque que a abastece.



Figura 3 – Máquina de envase



Figura 4 – Tanque de armazenamento

Descrição do Problema

Como mencionado anteriormente, o processo de envase possui oito canais, que enchem em um mesmo instante de tempo oito frascos do mesmo produto. O objetivo proposto nesta pesquisa é estabelecer um esquema de CEP para monitorar o funcionamento da enchedora. Para isso, a variável utilizada no monitoramento será o peso do frasco cheio.

A pesquisa se inicia com o entendimento do processo. Para isso despenderam-se vários dias junto à produção coletando dados do processo de envase. As observações coletadas perfazem um total de seis conjuntos de amostras, cada uma em um diferente dia de produção e com lotes distintos de fabricação. As amostras são de tamanho um, ou seja, a cada instante de tempo mediu-se o peso de um frasco cheio por cada bico. Obteve-se desta forma 8 observações em cada instante t , uma por bico, com o cuidado de identificar o bico correspondente a cada observação. Além disso, calculou-se a média das 8 observações no instante t , que será chamada daqui por diante, de “nível-base” (algumas vezes denominado somente de “base”), de acordo com a nomenclatura de Passos (2005).

De posse dos dados (valores nos bicos 1 a 8 e nível-base), elaborou-se uma plotagem das séries temporais dos mesmos e uma subsequente análise do seu comportamento para expurgar os dados não representativos da população, ou seja, dados que identifiquem a presença de causas especiais. Após este “filtro”, estabeleceram-se as estatísticas descritivas para cada conjunto de amostras. Finalmente, através do conhecimento adquirido sobre o processo e das estatísticas descritivas, suposições foram estabelecidas como forma de orientar as análises subsequentes.

As Figuras 5, 7, 9, 11, 13, 15 e 16 apresentam a série temporal do peso do frasco envasado por cada bico, e as Figuras 6, 8, 10, 12, 14 e 17 apresentam o *Boxplot*.

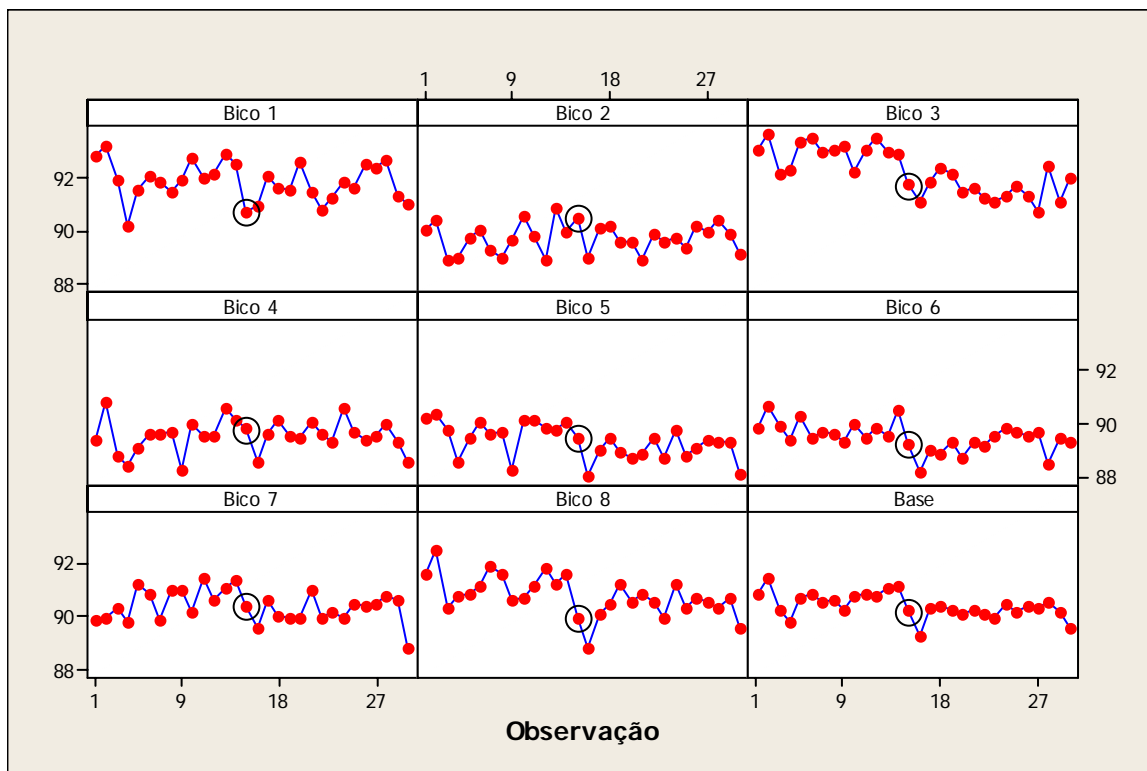


Figura 5 – Série de observações para o conjunto 1 de amostras

Notas:

- A máquina apresentou pane diversas vezes após a retirada das amostras de 15 (demarcada por um círculo);
- Intervalo entre amostras: 10 minutos (a cada 10 minutos, coletou-se uma observação de cada bico; esperam-se 10 minutos para repetir a coleta).

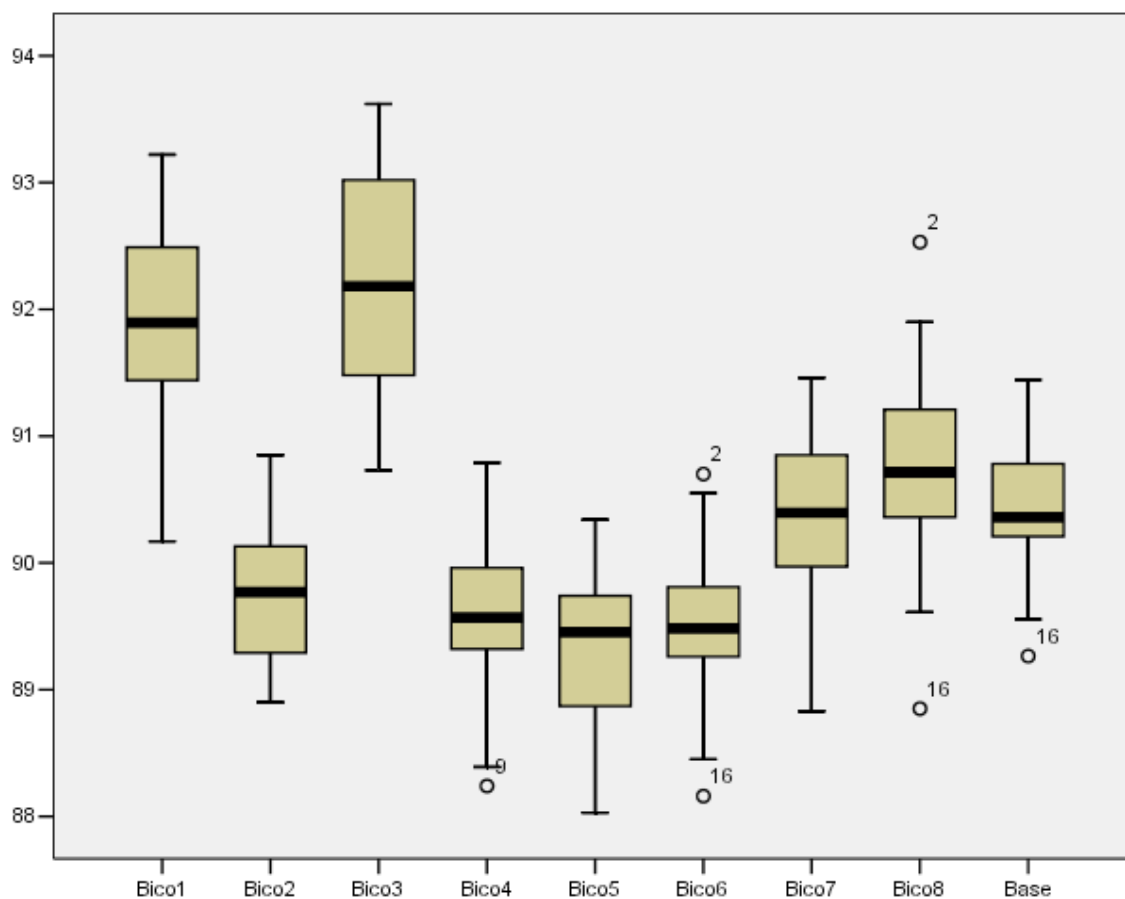


Figura 6 – *Boxplot* para o conjunto 1 de amostras

Através do *boxplot* na Figura 6 começam a aparecer algumas evidências no processo; são elas:

- Os bicos possuem médias diferentes;
- Quanto às variâncias, não está claro se são idênticas ou distintas. Há uma leve indicação de que o bico 3 talvez possua variância superior à dos demais, por exemplo, mas esta indicação não é suficientemente evidente para ser conclusiva;
- O processo produziu pontos extremos para os bicos 6 , 8 e para o nível-base, na amostra 16, a partir da qual o equipamento apresentou diversas panes.

Lembrando que a característica controlada é o peso bruto dos frascos, empregar-se-á frequentemente somente o termo “média” e “variância” para referir-se à média e a variância desse peso.

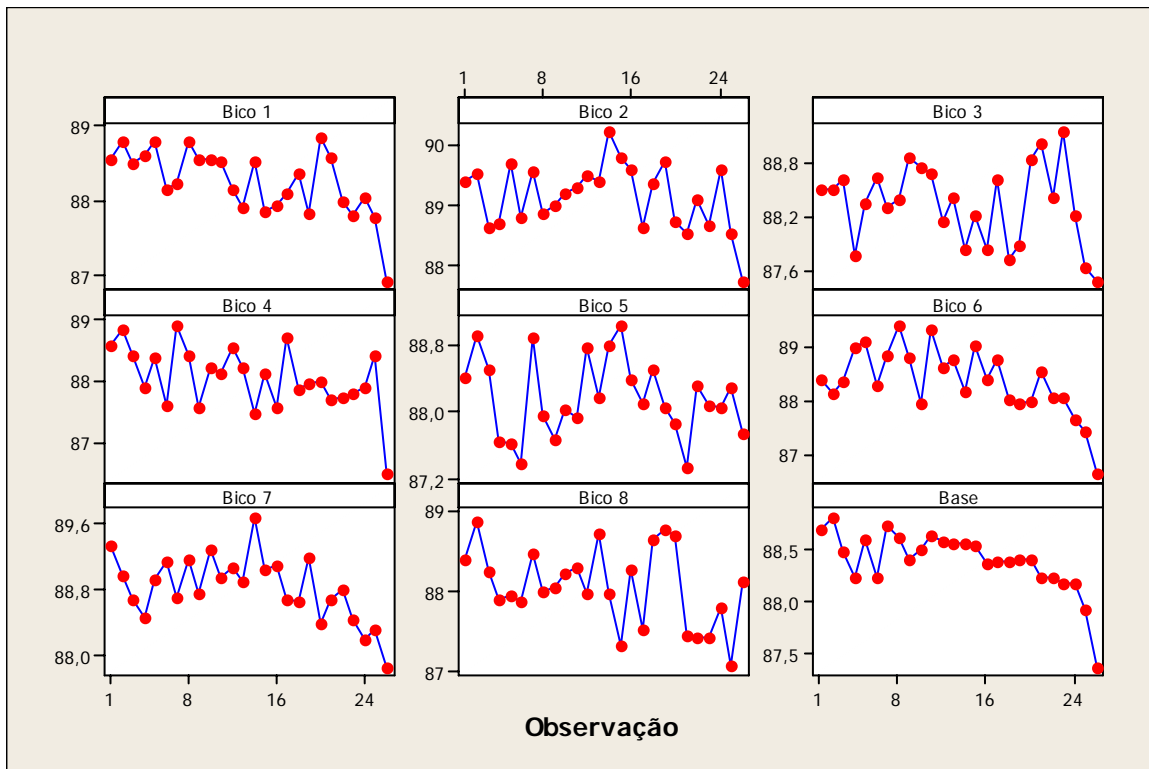


Figura 7 – Série de observações para o conjunto 2 de amostras

Notas:

- As amostras não foram obtidas a intervalos de tempos regulares;
- O lote do produto terminou após a última observação;
- Não houve mudança de lote durante este conjunto de amostra.

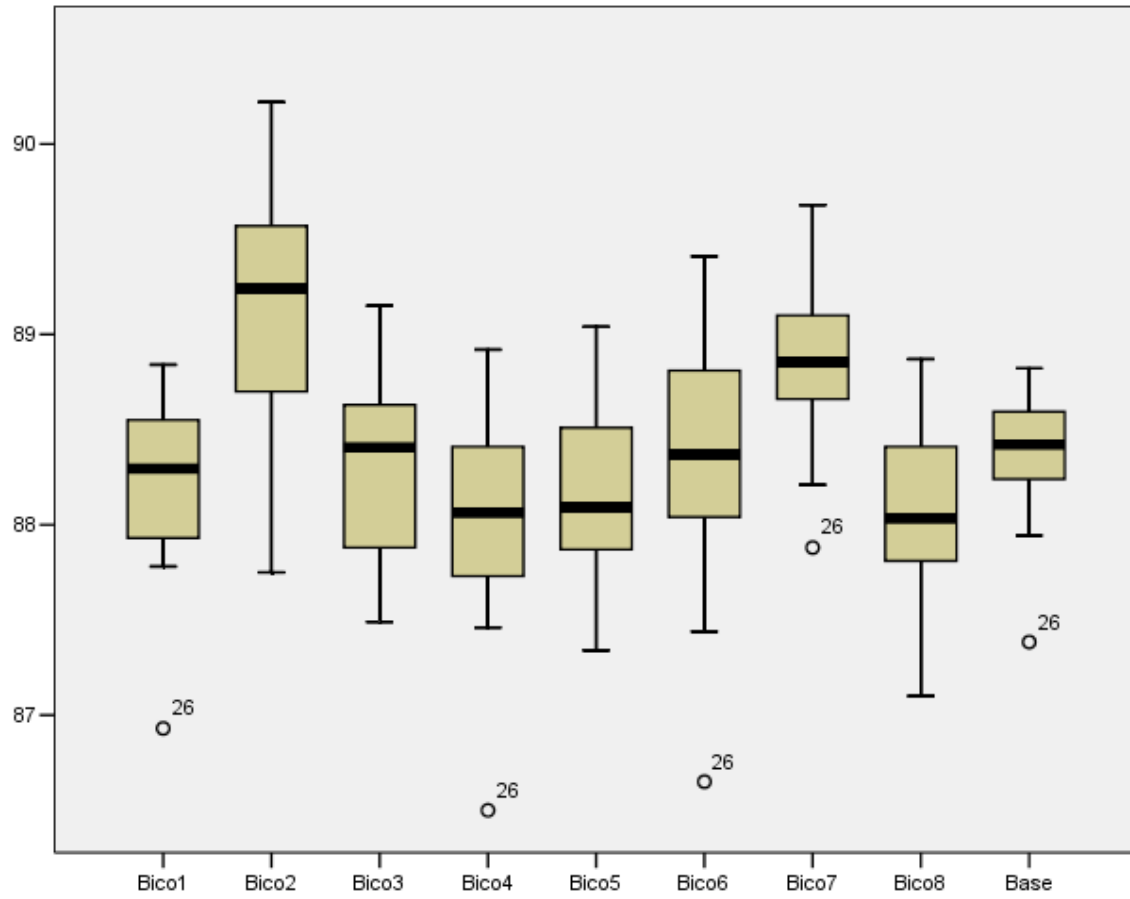


Figura 8 – *Boxplot* para o conjunto 2 de amostras

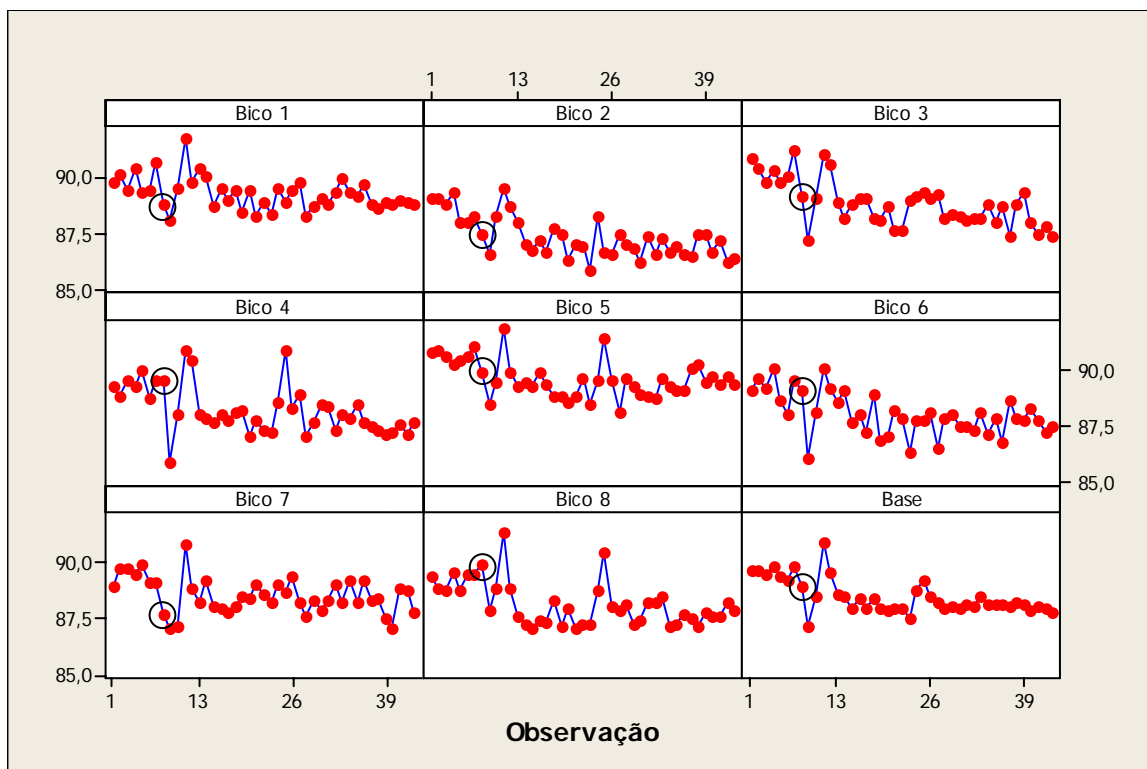


Figura 9 – Série de observações para o conjunto 3 de amostras

Notas:

- Intervalo entre amostras de 10 minutos;
- O produto armazenado no tanque estava próximo do fim, quando foram realizadas as medidas da oitava amostra (a mesma está sinalizada no gráfico através de um círculo);
- Entre as amostras 9 e 10 inicia-se o envase de um novo lote;
- Antes da coleta da amostra 12, o operador ajustou o peso dos bicos;
- Antes da amostra 13 o operador voltou a ajustar os pesos dos bicos.

Na Figura 10 está o *boxplot* para o conjunto 3 de amostras.

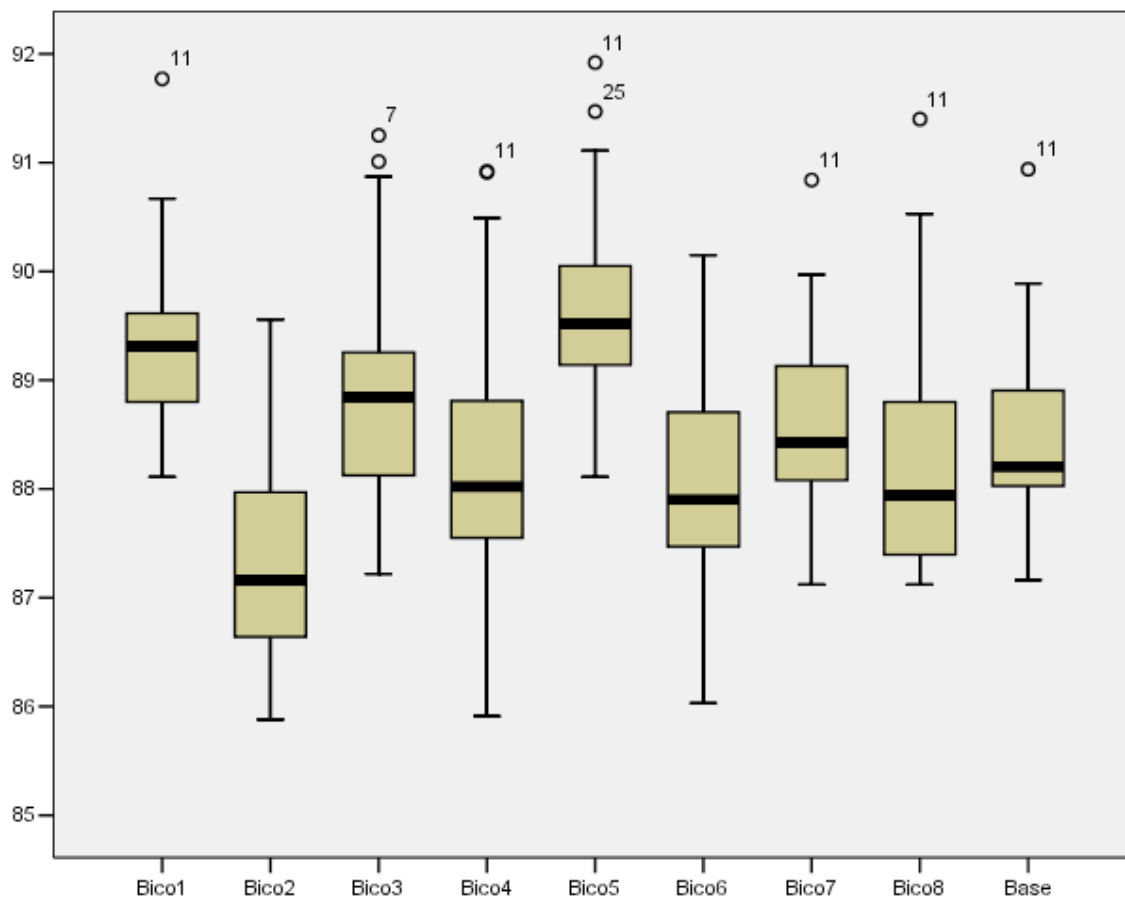


Figura 10 – *Boxplot* para o conjunto 3 de amostras

O *boxplot* do conjunto 3 de amostras, figura 10, apresenta algumas evidências que se repetem nos conjuntos 5 e 6 de amostras. As evidências são:

- Médias aparentemente distintas entre os bicos;
- Não há evidência de variâncias diferentes entre os bicos;
- Ao final do lote o peso diminui, suposição realizada após uma inspeção visual da série de observações, inclusive a nona amostra (última observação do lote) de todos os bicos teve o menor peso registrado;
- Após o início de um novo lote (observação 11) a média parece se alterar, o que pode ser atribuído ao ajuste no peso realizado pelo operador.

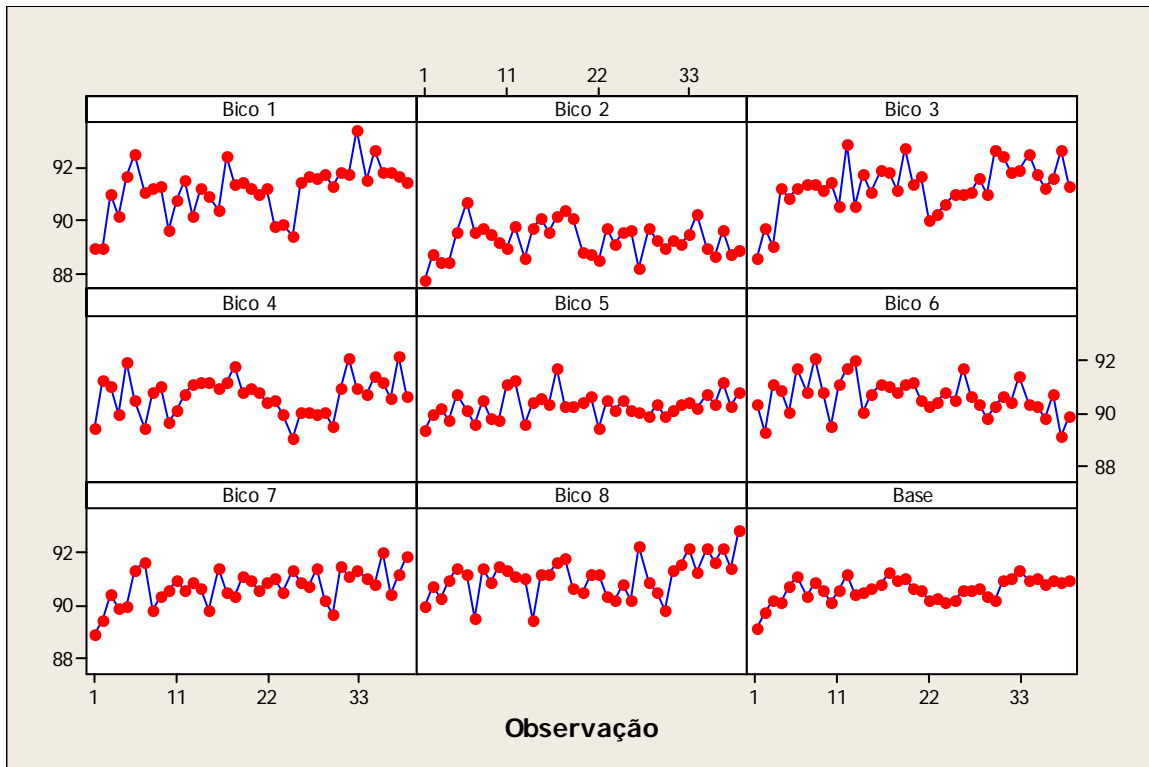


Figura 11 – Série de observações para o conjunto 4 de amostras

Notas:

- Intervalo entre amostras: 10 minutos;
- Não houve mudança de lote;
- O valor baixo nas primeiras amostras parece ser devido a uma causa especial, no entanto não se conhece tal causa. Construiu-se a seguir os *boxplots* dos bicos e do nível-base para melhor avaliar se a amostra 1 deve ser considerada um *outlier*.

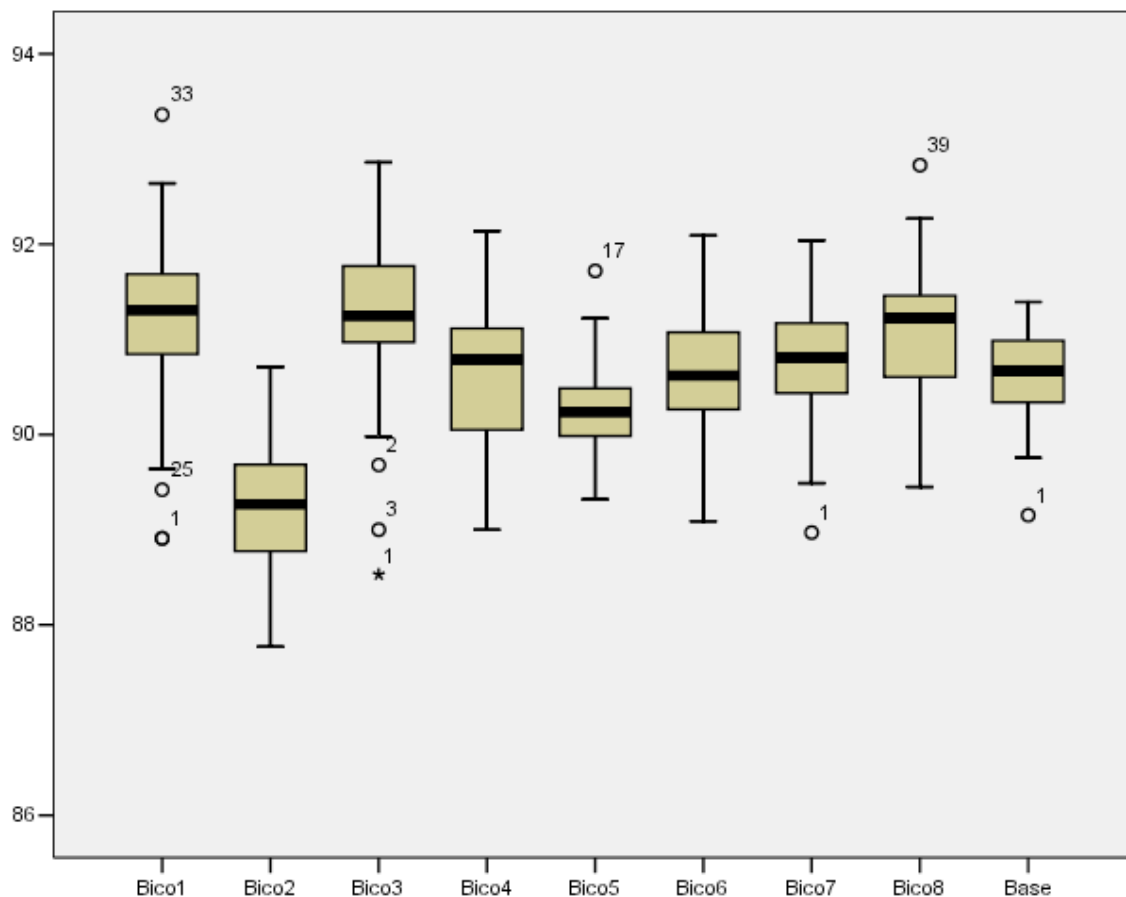


Figura 12 – *Boxplot* para o conjunto 4 de amostras

Analisando os *boxplots* da Figura 12 constata-se que a amostra 1 foi um ponto extremo em vários bicos. Isto sugere que houve uma causa especial atuando no início do processo, embora não se tenham registros que permitam identificá-la. Essa amostra será eliminada das análises futuras.

Permanece ainda, a evidência de diferentes médias entre os bicos; as variâncias parecem semelhantes (ainda que o bico 5 pareça ter variância ligeiramente menor que os demais, neste conjunto de amostra).

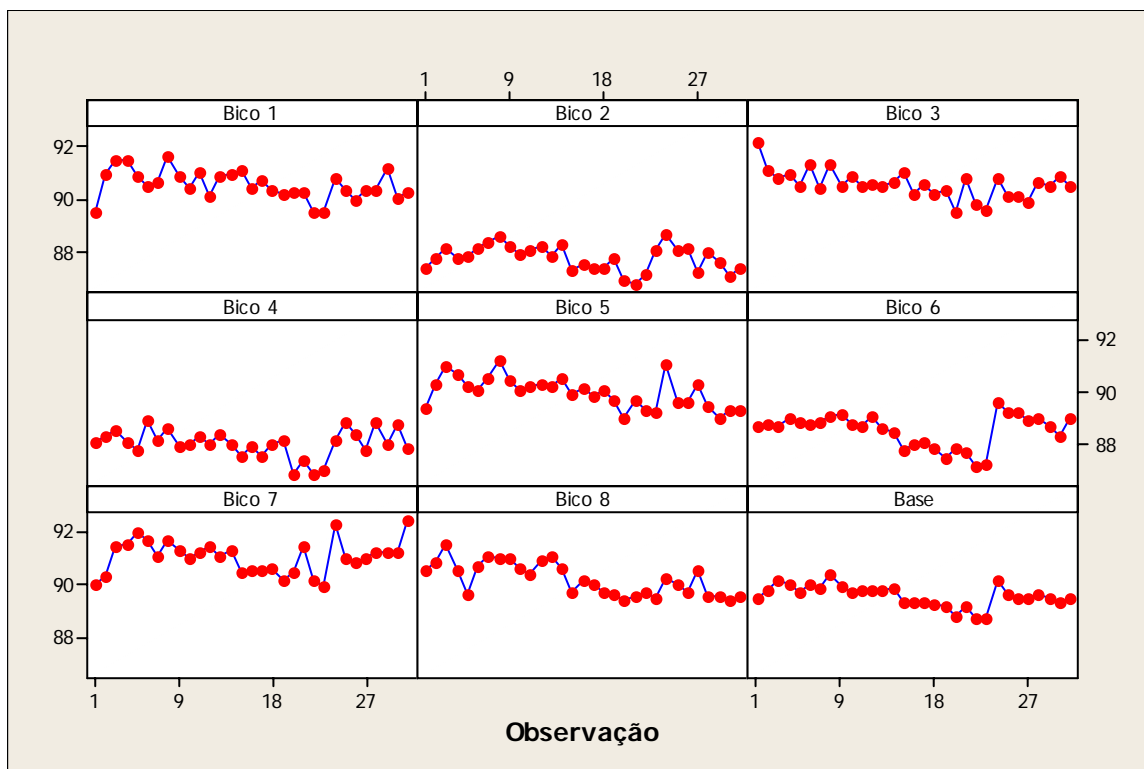


Figura 13 – Série de observações para o conjunto 5 de amostras

Notas:

- Intervalo de 10 minutos entre amostras;
- Início de um novo lote entre as amostras 21 e 22;
- Ajuste geral do peso (diminuição no peso) após a retirada das amostras 22.

No *boxplot* da Figura 14 expurgaram-se as observações referentes ao segundo lote, bem como os dados do primeiro lote após a amostra número 9 (marcada nos gráficos com um círculo preto), pois visualmente nota-se que o peso está diminuindo devido ao mesmo motivo observado no conjunto 3 de amostras, a espuma contida no final do tanque. Em suma, foram consideradas na análise apenas as amostras de 1 a 9.

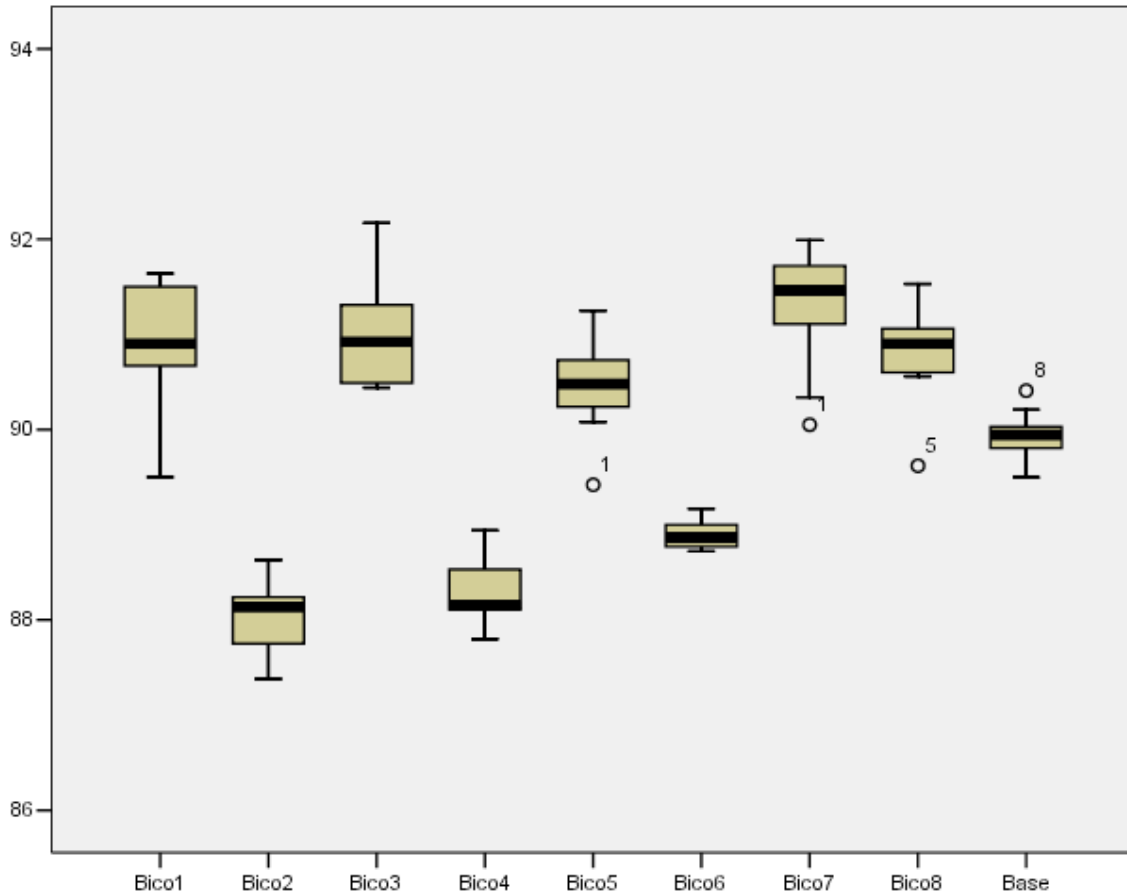


Figura 14 – *Boxplot* para o conjunto 5 de amostras

Repete-se aqui a evidência já presente nos conjuntos de amostras anteriores, de médias distintas entre os bicos (neste conjunto de amostras isso é muito mais evidente que nas anteriores); quanto à variância, fica difícil dizer se há diferenças exceto pelo bico 6, que neste conjunto de amostras apresenta variância menor que as demais.

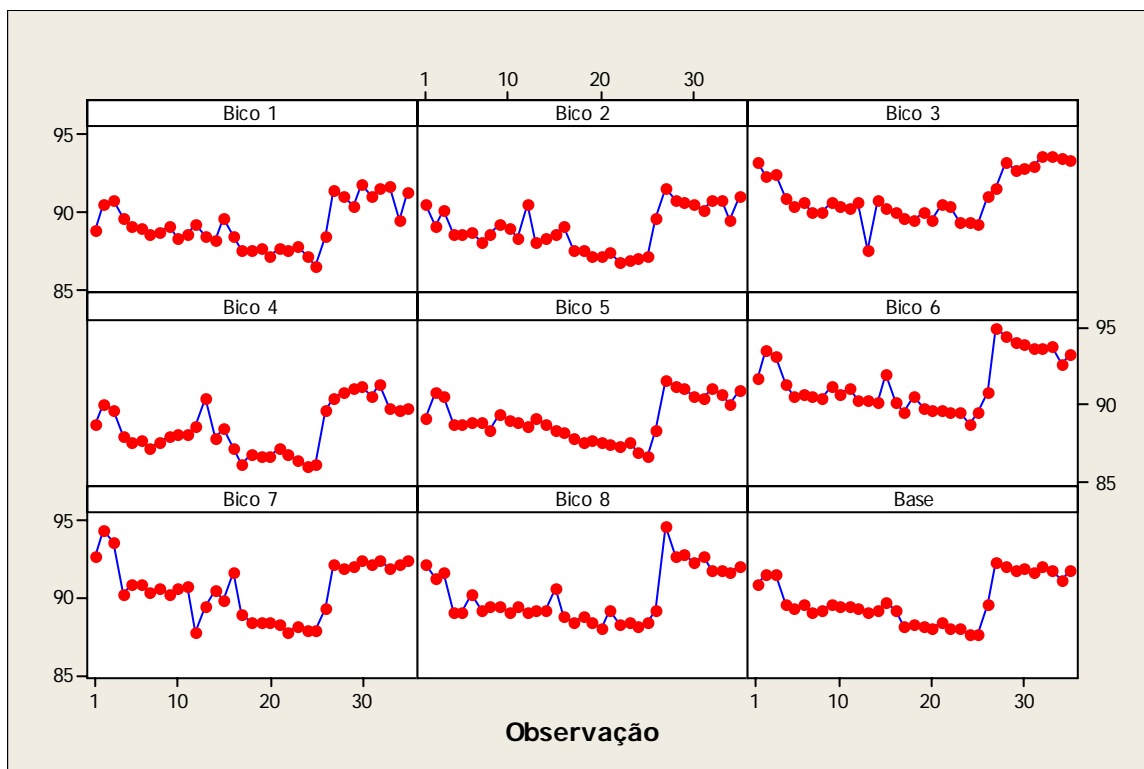


Figura 15 – Série de observações para o conjunto 6 de amostras

Notas:

- Início de um novo lote na observação 27.

Neste conjunto de amostra na plotagem dos dados se evidencia uma peculiaridade do processo que ainda não se tinha dado nota. Observa-se que ao iniciar um novo lote (observação 27) há uma descontinuidade nos gráficos, ou seja, a média do processo se modifica. Na próxima análise consideraram-se somente as 26 primeiras observações com a finalidade de verificar se as 3 primeiras observações são *outliers*.

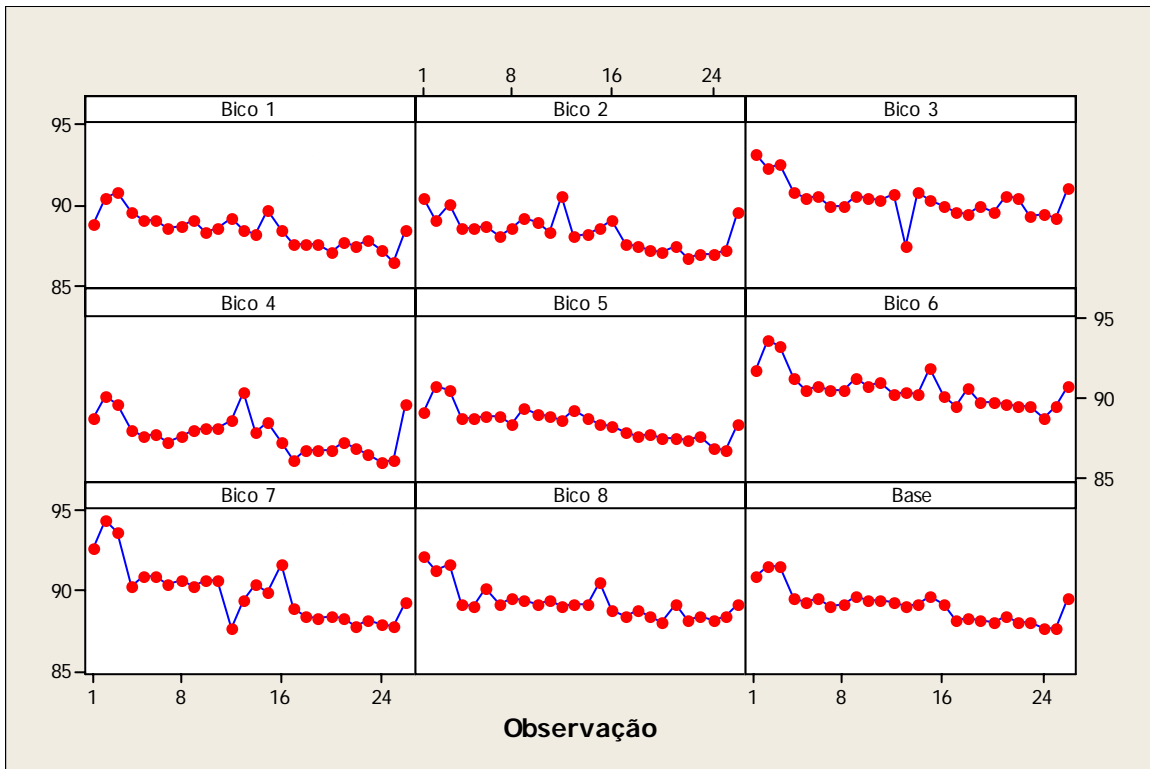


Figura 16 – Série de 26 primeiras observações para o conjunto 6 de amostras

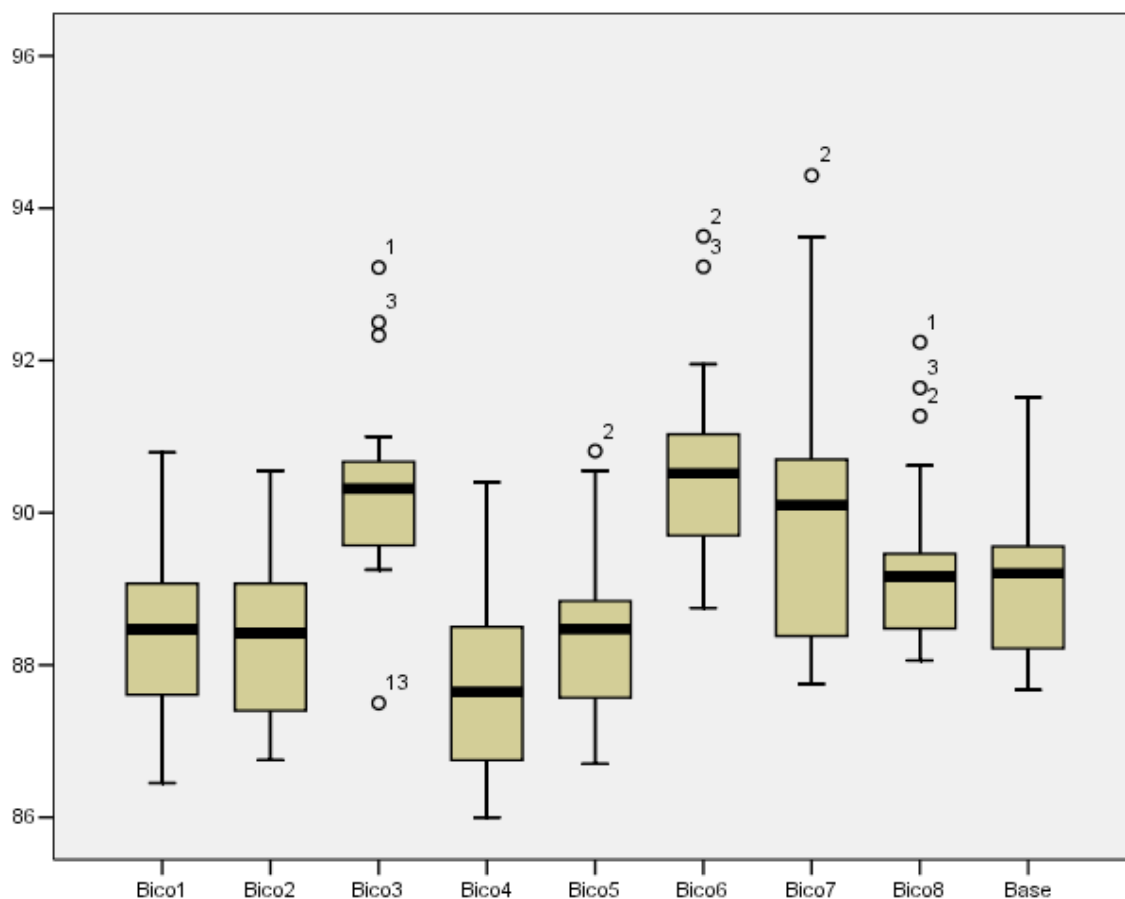


Figura 17 – *Boxplot* para o conjunto 6 de amostras considerando as 26 primeiras amostras

Nos *boxplots* (figura 17) há evidência de causas especiais influenciando as observações 1, 2 e 3. Logo, estas observações serão também excluídas das análises futuras. Repete-se a suspeita de queda no peso (ver Figura 16) pelo fato de no final do tanque haver espuma, o que está evidenciado pelos comportamentos das amostras 17 à 26.

Análises Estatísticas

Foram aplicados testes estatísticos (que serão descritos a seguir) para confirmar ou não as hipóteses levantadas com esta análise exploratória dos dados, ou seja, para verificar especificamente:

- Se os bicos possuem médias estatisticamente distintas entre si;
- Se as variâncias dos bicos são estatisticamente diferentes (ou não);

- **Médias diferentes em lotes diferentes num mesmo bico, ou seja, a média em um bico se modifica de dia para dia, assim como entre diferentes lotes no mesmo dia;**
- **Se as variâncias dos bicos não são constantes ao longo do tempo;**
- **Mudança na média (diminuição no peso) quando o tanque de armazenagem se aproxima do final;**
- **Se as médias dos bicos variam de lote para lote uniformemente para todos os bicos, ou seja, se a densidade da matéria-prima é o único fator a afetar o peso.**

No entanto, para verificar essas suposições, só devem ser usadas observações representativas do processo sob controle. Assim, foram expurgadas as observações julgadas anômalas conforme a análise preliminar descrita acima. Especificamente, as observações mantidas e descartadas dos diversos conjuntos de amostras são:

- **Conjunto 1 de amostras: As 15 primeiras amostras foram consideradas;**
- **Conjunto 2 de amostras: O conjunto 2 de amostras foi completamente descartado.**
- **Conjunto 3 de amostras: Descartaram-se as 13 primeiras amostras;**
- **Conjunto 4 de amostras: Descartaram-se somente a primeira amostra;**
- **Conjunto 5 de amostras: Consideraram-se somente as 9 primeiras amostras;**
- **Conjunto 6 de amostras: Descartaram-se as 3 primeiras amostras considerando as 13 seguintes, que serão denominadas sub-conjunto 6.1; consideraram-se também do conjunto 6 de amostras as 9 últimas amostras, denominadas sub-conjunto 6.2. Desta forma, o conjunto 6 de amostras foi subdividido em dois sub-conjuntos, considerados provenientes de duas populações distintas.**

Entretanto quando se for testar se a média se modifica quando o tanque de armazenagem se aproxima do final serão considerados as observações afetadas por esta causa especial, são elas:

- **Conjunto 3 de amostras: Consideraram-se as 9 primeiras amostras;**
- **Conjunto 5 de amostras: Consideraram-se as amostras 10 a 23;**
- **Conjunto 6 de amostras: Consideraram-se as amostras 17 a 25.**

Resumem-se a seguir, nas tabelas 2 a 7, as estatísticas descritivas dos conjuntos de amostras considerados (apenas com as observações consideradas válidas).

Tabela 2 – Estatísticas descritivas do conjunto 1 de amostras

	N	Range	Mean	Std. Deviation	Variance
Bico1	15	3,05	91,9973	,81879	,670
Bico2	15	1,93	89,7760	,65311	,427
Bico3	15	1,85	92,8993	,54646	,299
Bico4	15	2,55	89,5400	,71601	,513
Bico5	15	2,11	89,6860	,59097	,349
Bico6	15	1,48	89,7820	,44467	,198
Bico7	15	1,64	90,6153	,58322	,340
Bico8	15	2,57	91,1967	,67185	,451
Base	15	1,65	90,6866	,41621	,173
Valid N (listwise)	15				

Tabela 3 – Estatísticas descritivas do conjunto 3 de amostras

	N	Range	Mean	Std. Deviation	Variance
Bico1	30	1,85	89,0663	,48085	,231
Bico2	30	2,40	86,9027	,51497	,265
Bico3	30	1,96	88,4010	,60136	,362
Bico4	30	3,84	87,8873	,76546	,586
Bico5	30	3,36	89,3670	,63485	,403
Bico6	30	2,75	87,6943	,65135	,424
Bico7	30	2,28	88,4383	,56742	,322
Bico8	30	3,41	87,8033	,70060	,491
Base	30	1,69	88,1950	,32428	,105
Valid N (listwise)	30				

Tabela 4 – Estatísticas descritivas do conjunto 4 de amostras

	N	Range	Mean	Std. Deviation	Variance
Bico1	38	4,45	91,1963	,91304	,834
Bico2	38	2,51	89,3124	,60640	,368
Bico3	38	3,86	91,3279	,83914	,704
Bico4	38	3,14	90,6942	,72492	,526
Bico5	38	2,33	90,3037	,48975	,240
Bico6	38	3,00	90,6458	,70866	,502
Bico7	38	2,55	90,7974	,60601	,367
Bico8	38	3,38	91,1184	,74206	,551
Base	38	1,64	90,6745	,37976	,144
Valid N (listwise)	38				

Tabela 5 – Estatísticas descritivas do conjunto 5 de amostras

	N	Range	Mean	Std. Deviation	Variance
Bico1	9	2,14	90,8900	,65565	,430
Bico2	9	1,25	88,0256	,37822	,143
Bico3	9	1,73	90,9989	,55596	,309
Bico4	9	1,14	88,2778	,36103	,130
Bico5	9	1,83	90,4489	,53450	,286
Bico6	9	,45	88,8867	,15564	,024
Bico7	9	1,94	91,2600	,65677	,431
Bico8	9	1,91	90,7956	,53099	,282
Base	9	,91	89,9479	,26707	,071
Valid N (listwise)	9				

Tabela 6 – Estatísticas descritivas do conjunto 6.1 de amostras

	N	Range	Mean	Std. Deviation	Variance
Bico1	13	1,48	88,8300	,48163	,232
Bico2	13	2,48	88,7077	,65162	,425
Bico3	13	3,37	90,1623	,85894	,738
Bico4	13	3,21	88,0515	,82134	,675
Bico5	13	1,18	88,7415	,33116	,110
Bico6	13	1,77	90,7346	,52028	,271
Bico7	13	3,96	90,3231	,93586	,876
Bico8	13	1,82	89,3931	,50225	,252
Base	13	,65	89,3680	,21100	,045
Valid N (listwise)	13				

Tabela 7 – Estatísticas descritivas do conjunto 6.2 de amostras

	N	Range	Mean	Std. Deviation	Variance
Bico1	9	2,33	91,0600	,73190	,536
Bico2	9	2,06	90,6244	,57254	,328
Bico3	9	1,99	93,0233	,62869	,395
Bico4	9	1,61	90,5289	,65354	,427
Bico5	9	1,53	90,8567	,47260	,223
Bico6	9	2,29	93,8733	,65527	,429
Bico7	9	,59	92,1867	,22271	,050
Bico8	9	2,94	92,5167	,90178	,813
Base	9	1,20	91,8338	,33148	,110
Valid N (listwise)	9				

Como alguns dos testes a seguir têm como premissa que as observações sejam normalmente distribuídas, as tabelas 7 a 12 são resultados dos testes de normalidade gerados pelo SPSS, para todos os conjuntos de amostras considerados. O *output* do SPSS gera duas estatísticas de teste, a de Kolmogorov-Smirnov mais adequada às situações em que só se dispõe de uma pequena quantidade de dados ($n < 30$) e a outra estatística de Shapiro-Wilk, aplicável a amostras com tamanho $n > 30$. A hipótese testada é:

H₀: Os dados seguem uma distribuição normal

H₁: Os dados não seguem uma distribuição normal

Tabela 8 – Teste de normalidade para o conjunto 1 de amostras

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Bico1	,148	15	,200*	,947	15	,483
Bico2	,161	15	,200*	,924	15	,221
Bico3	,241	15	,019	,910	15	,135
Bico4	,156	15	,200*	,962	15	,731
Bico5	,224	15	,041	,836	15	,011
Bico6	,150	15	,200*	,923	15	,212
Bico7	,140	15	,200*	,918	15	,179
Bico8	,116	15	,200*	,986	15	,994

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Tabela 9 – Teste de normalidade para o conjunto 3 de amostras

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Bico1	,130	30	,200*	,970	30	,549
Bico2	,101	30	,200*	,979	30	,788
Bico3	,145	30	,107	,941	30	,095
Bico4	,143	30	,121	,810	30	,000
Bico5	,140	30	,139	,932	30	,055
Bico6	,095	30	,200*	,978	30	,777
Bico7	,106	30	,200*	,974	30	,656
Bico8	,165	30	,037	,801	30	,000

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Tabela 10 – Teste de normalidade para o conjunto 4 de amostras

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Bico1	,152	38	,027	,949	38	,080
Bico2	,096	38	,200*	,978	38	,651
Bico3	,116	38	,200*	,966	38	,304
Bico4	,103	38	,200*	,978	38	,641
Bico5	,107	38	,200*	,964	38	,251
Bico6	,076	38	,200*	,985	38	,875
Bico7	,064	38	,200*	,986	38	,913
Bico8	,086	38	,200*	,981	38	,759

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Tabela 11 – Teste de normalidade para o conjunto 5 de amostras

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Bico1	,175	9	,200*	,892	9	,211
Bico2	,174	9	,200*	,977	9	,947
Bico3	,171	9	,200*	,888	9	,190
Bico4	,194	9	,200*	,957	9	,767
Bico5	,134	9	,200*	,974	9	,924
Bico6	,209	9	,200*	,914	9	,346
Bico7	,227	9	,199	,872	9	,129
Bico8	,218	9	,200*	,891	9	,205

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Tabela 12 – Teste de normalidade para o conjunto 6.1 de amostras

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Bico1	,199	13	,164	,923	13	,275
Bico2	,217	13	,096	,796	13	,006
Bico3	,316	13	,001	,661	13	,000
Bico4	,226	13	,067	,799	13	,007
Bico5	,152	13	,200*	,967	13	,854
Bico6	,181	13	,200*	,898	13	,124
Bico7	,259	13	,017	,834	13	,018
Bico8	,246	13	,030	,805	13	,008

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Tabela 13 – Teste de normalidade para o conjunto 6.2 de amostras

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Bico1	,272	9	,053	,833	9	,049
Bico2	,226	9	,200*	,937	9	,554
Bico3	,215	9	,200*	,820	9	,035
Bico4	,201	9	,200*	,883	9	,167
Bico5	,134	9	,200*	,984	9	,983
Bico6	,179	9	,200*	,971	9	,907
Bico7	,175	9	,200*	,915	9	,351
Bico8	,274	9	,050	,812	9	,028

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Os resultados de um modo geral demonstram que o peso segue uma distribuição normal, com ocasionais afastamentos da normalidade, possivelmente devido a causas especiais não identificadas. De fato, é fácil observar pelos gráficos das séries de observações que os casos de *p-value* (Sig.) pequeno correspondem na maioria das vezes a séries com picos ou vales acentuados ou alguma outra “quebra” de padrão.

A primeira análise realizada foi a verificação se os parâmetros (médias e variâncias) dos bicos eram iguais. As estatísticas descritivas apresentadas nas tabelas 1 a 6 dão a impressão de que tanto a média, como as variâncias dos bicos são diferentes. No entanto é necessário realizar testes formais para testar igualdade das médias e variâncias dos bicos.

A seguir, são apresentados todos os resultados do teste de Levene, de homogeneidade de variâncias (Tabela 14) dentro de cada conjunto de amostras. Formalmente, as hipóteses testadas são:

H₀: Todos os bicos possuem variâncias semelhantes

H₁: Pelo menos um bico possui variância distinta dos demais

Tabela 14 – Teste de homogeneidade de variância para os conjuntos de amostras

Conjuntos de amostras	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Coonjunto 1 de amostras	0,62	7	112	0,738
Coonjunto 3 de amostras	0,522	7	232	0,818
Coonjunto 4 de amostras	1,601	7	296	0,135
Coonjunto 5 de amostras	1,27	7	64	0,279
Coonjunto 6.1 de amostras	0,689	7	96	0,681
Coonjunto 6.2 de amostras	1,031	7	64	0,418

Como o menor dos *p-values* (Sig.) encontrados foi de 13,5% (os demais sendo bem maiores que este valor, alguns inclusive acima de 50%), **não se tem evidência suficiente para rejeitar a hipótese de igualdade de variância entre os bicos num mesmo conjunto de amostra**. A análise seguinte foi avaliar se as médias dos bicos são iguais em cada conjunto de amostras. O teste utilizado para avaliar a hipótese de médias iguais (ANOVA) está exibido abaixo. As hipóteses são:

H₀: Todos os bicos possuem médias iguais

H₁: Pelo menos 1 bico possui média diferente

Tabela 15 – ANOVA para o conjunto 1 de amostras

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	162,643	7	23,235	57,250	,000
Within Groups	45,455	112	,406		
Total	208,097	119			

Tabela 16 – ANOVA para o conjunto 3 de amostras

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	132,099	7	18,871	48,952	,000
Within Groups	89,438	232	,386		
Total	221,537	239			

Tabela 17 – ANOVA para o conjunto 4 de amostras

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	110,409	7	15,773	30,844	,000
Within Groups	151,367	296	,511		
Total	261,776	303			

Tabela 18 – ANOVA para o conjunto 5 de amostras

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	110,648	7	15,807	62,122	,000
Within Groups	16,285	64	,254		
Total	126,932	71			

Tabela 19 – ANOVA para o conjunto 6.1 de amostras

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	81,410	7	11,630	26,008	,000
Within Groups	42,929	96	,447		
Total	124,339	103			

Tabela 20 – ANOVA para o conjunto 6.2 de amostras

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	97,960	7	13,994	34,971	,000
Within Groups	25,611	64	,400		
Total	123,570	71			

Com um nível de significância de 5 % conclui-se que pelo menos um bico possui média diferente dos demais num mesmo conjunto de amostras. Através do próximo teste, verificam-se quais bicos possuem médias estatisticamente equivalentes. Nas tabelas 21 a 26 cada coluna contém um grupo de bicos que pode ser considerado de médias semelhantes (grupo homogêneo), o teste utilizado foi o de Tukey.

Tabela 21 – Bicos com médias estatisticamente semelhantes no conjunto 1 de amostras Tukey HSD^a

Bicos	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
4	15	89,5400			
5	15	89,6860			
2	15	89,7760			
6	15	89,7820			
7	15		90,6153		
8	15		91,1967		
1	15			91,9973	
3	15				92,8993
Sig.		,967	,207	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,000.

Tabela 22 – Bicos com médias estatisticamente semelhantes no conjunto 3 de amostras

Tukey HSD ^a	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
Bicos 2	30	86,9027			
6	30		87,6943		
8	30		87,8033		
4	30		87,8873		
3	30			88,4010	
7	30			88,4383	
1	30				89,0663
5	30				89,3670
Sig.		1,000	,930	1,000	,569

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30,000.

Tabela 23 – Bicos com médias estatisticamente semelhantes no conjunto 4 de amostras

Tukey HSD^a

Bicos	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
2	38	89,3124				
5	38		90,3037			
6	38		90,6458	90,6458		
4	38		90,6942	90,6942		
7	38		90,7974	90,7974	90,7974	
8	38			91,1184	91,1184	91,1184
1	38				91,1963	91,1963
3	38					91,3279
Sig.		1,000	,057	,080	,230	,907

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 38,000.

Tabela 24 – Bicos com médias estatisticamente semelhantes no conjunto 5 de amostras

Tukey HSD^a

Bicos	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
2	9	88,0256			
4	9	88,2778	88,2778		
6	9		88,8867		
5	9			90,4489	
8	9			90,7956	90,7956
1	9			90,8900	90,8900
3	9			90,9989	90,9989
7	9				91,2600
Sig.		,963	,190	,303	,521

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

Tabela 25 – Bicos com médias estatisticamente semelhantes no conjunto 6.1 de amostras

Tukey HSD^a

Bicos	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
4	13	88,0515			
2	13	88,7077	88,7077		
5	13	88,7415	88,7415		
1	13	88,8300	88,8300		
8	13		89,3931	89,3931	
3	13			90,1623	90,1623
7	13				90,3231
6	13				90,7346
Sig.		,071	,164	,077	,372

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,000.

Tabela 26 – Bicos com médias estatisticamente semelhantes no conjunto 6.2 de amostras

Tukey HSD^a

Bicos	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
4	9	90,5289		
2	9	90,6244		
5	9	90,8567		
1	9	91,0600		
7	9		92,1867	
8	9		92,5167	
3	9		93,0233	93,0233
6	9			93,8733
Sig.		,635	,112	,101

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

Nota-se que a maioria dos conjuntos de amostras (conjuntos 1, 3, 5 e 6.1) apresentou quatro grupos com médias estatisticamente semelhantes, e para o conjunto 4 cinco grupos foram estabelecidos, e para o conjunto 6.2, apenas três grupos.

Abaixo são listados os resultados das análises realizadas até o momento. É importante observar que estas conclusões somente levaram em consideração comparações entre os parâmetros dentro de um mesmo conjunto de amostra, ou seja, entre os bicos do conjunto de amostra. Isto é, não se verificou se tais parâmetros são semelhantes no decorrer do tempo.

- **A suspeita de variâncias distintas entre os bicos pode ser descartada, ou seja, os bicos possuem variâncias estatisticamente equivalentes;**
- **As médias são estatisticamente distintas entre os bicos.**

Apesar de a máquina possibilitar um ajuste individual do peso, esta regulagem é pouco eficaz devido à falta de um dispositivo que indique a quantidade de volume dispensado por bico, resultando em um processo com vários bicos com médias diferentes.

A análise a seguir (tabela 27), utilizando os conjuntos de amostras 1, 3, 4, 5, 6.1 e 6.2, avalia se as variâncias no mesmo bico são iguais em lotes de fabricação diferentes, isto é, se a variância do bico é constante entre os conjuntos de amostras mencionados.

Tabela 27 – Teste de homogeneidade de variâncias entre os conjuntos de amostras

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Bico1	1,363	5	108	,244
Bico2	,874	5	108	,501
Bico3	,622	5	108	,683
Bico4	,517	5	108	,763
Bico5	,635	5	108	,673
Bico6	2,153	5	108	,065
Bico7	1,404	5	108	,229
Bico8	,699	5	108	,625
Base	1,369	5	108	,242

Apesar de numericamente as variâncias de um mesmo bico parecerem ser diferentes entre conjuntos de amostras, a estatística de Levene exibida na tabela 27 contradiz tal hipótese. A um nível de significância de 5% não há evidência suficiente para rejeitar a suposição de que as variâncias são iguais entre os conjuntos de amostras para um mesmo bico.

A etapa seguinte foi avaliar se as médias dos bicos variam entre os conjuntos de amostras. As hipóteses testadas foram:

H₀: A média do bico é igual nos diferentes conjuntos de amostras

H₁: A média do bico é diferente em pelo menos um conjunto de amostras

A tabela 28 apresenta os resultados da ANOVA.

Tabela 28 – ANOVA para os Conjuntos de Amostras

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Bico1	Between Groups	153,703	5	30,741	57,795	,000
	Within Groups	57,444	108	,532		
	Total	211,147	113			
Bico2	Between Groups	165,867	5	33,173	99,162	,000
	Within Groups	36,130	108	,335		
	Total	201,997	113			
Bico3	Between Groups	299,066	5	59,813	117,004	,000
	Within Groups	55,210	108	,511		
	Total	354,276	113			
Bico4	Between Groups	177,856	5	35,571	68,396	,000
	Within Groups	56,168	108	,520		
	Total	234,024	113			
Bico5	Between Groups	43,544	5	8,709	30,498	,000
	Within Groups	30,840	108	,286		
	Total	74,384	113			
Bico6	Between Groups	327,638	5	65,528	174,612	,000
	Within Groups	40,530	108	,375		
	Total	368,168	113			
Bico7	Between Groups	154,855	5	30,971	79,554	,000
	Within Groups	42,045	108	,389		
	Total	196,900	113			
Bico8	Between Groups	278,881	5	55,776	114,269	,000
	Within Groups	52,716	108	,488		
	Total	331,598	113			
Base	Between Groups	156,561	5	31,312	265,339	,000
	Within Groups	12,745	108	,118		
	Total	169,306	113			

Pode-se ver que a hipótese H_0 é rejeitada (p-valores todos iguais a 0,000, na precisão de 3 dígitos). Há, portanto, evidência suficiente para concluir que pelo menos um conjunto de amostra de cada bico possui média diferente.

Os gráficos a seguir (Figuras 18 a 25) apresentam as médias de um mesmo bico em todos os conjuntos de amostras, para melhor visualização da sua variação a figura 26 mostra a variação do nível-base.

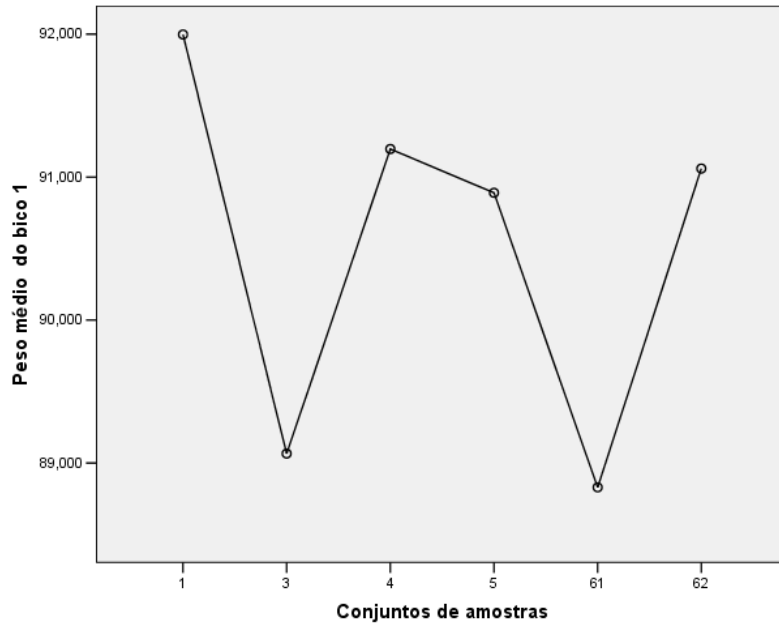


Figura 18 – Plotagem do peso médio para o bico 1 nos conjuntos de amostras válidos

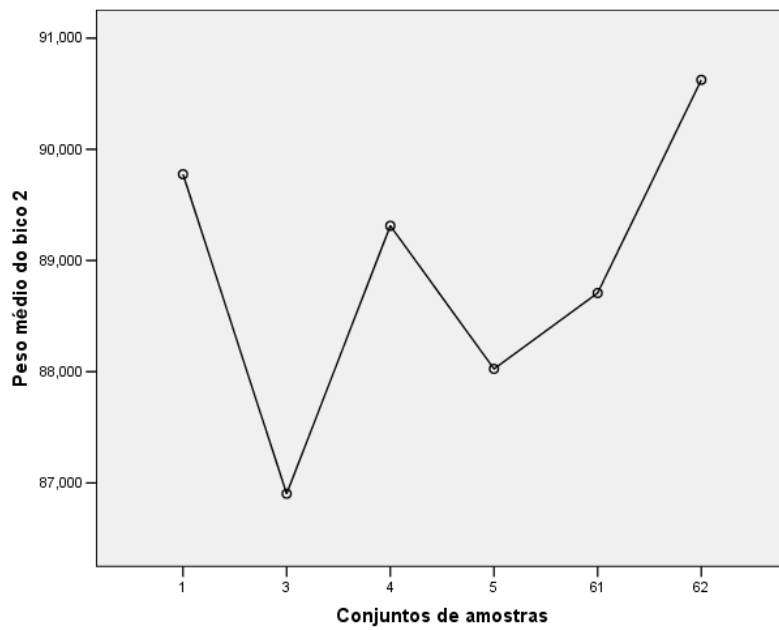


Figura 19 – Plotagem do peso médio para o bico 2 nos conjuntos de amostras válidos

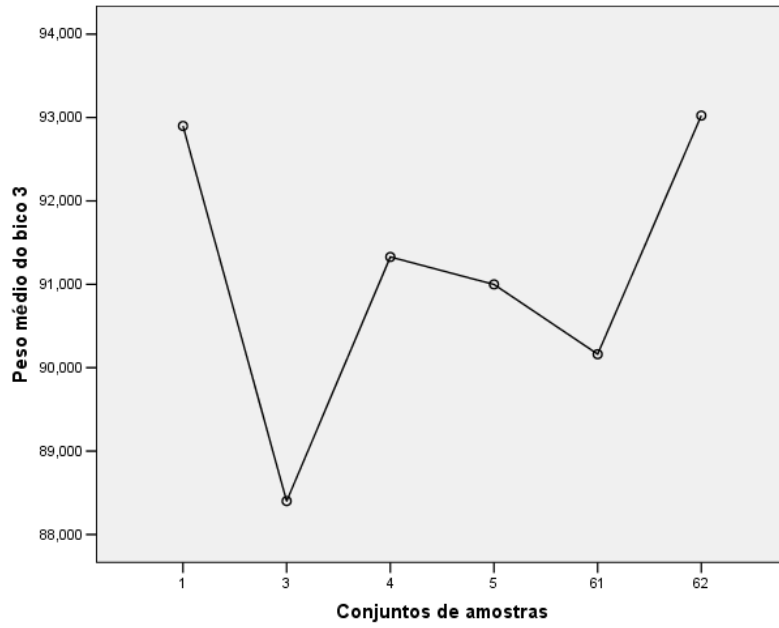


Figura 20 – Plotagem do peso médio do bico 2 para os diversos conjuntos de amostras

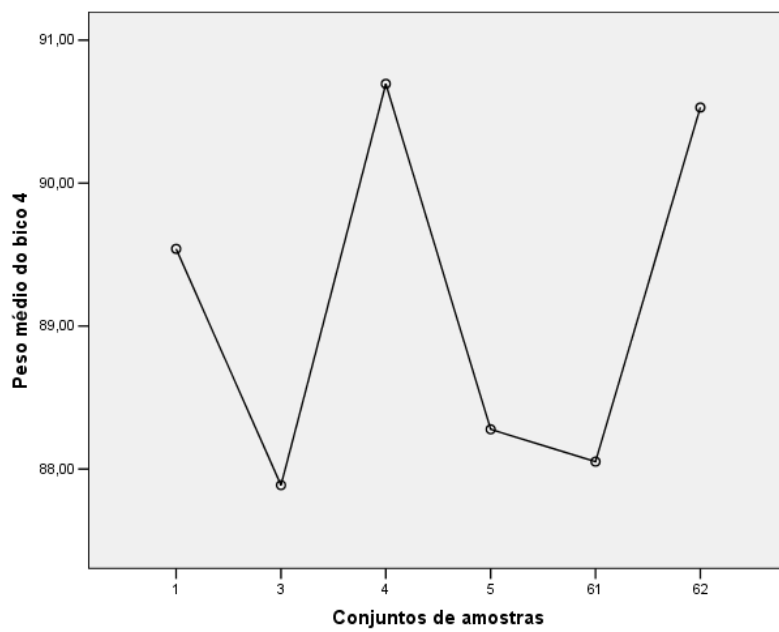


Figura 21 – Plotagem do peso médio do bico 4 para os diversos conjuntos de amostras

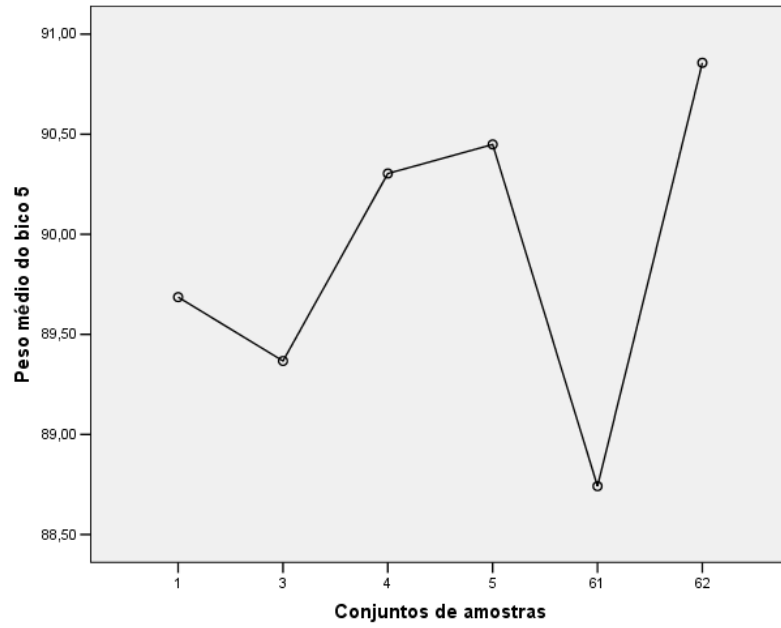


Figura 22 – Plotagem do peso médio do bico 5 para os diversos conjuntos de amostras

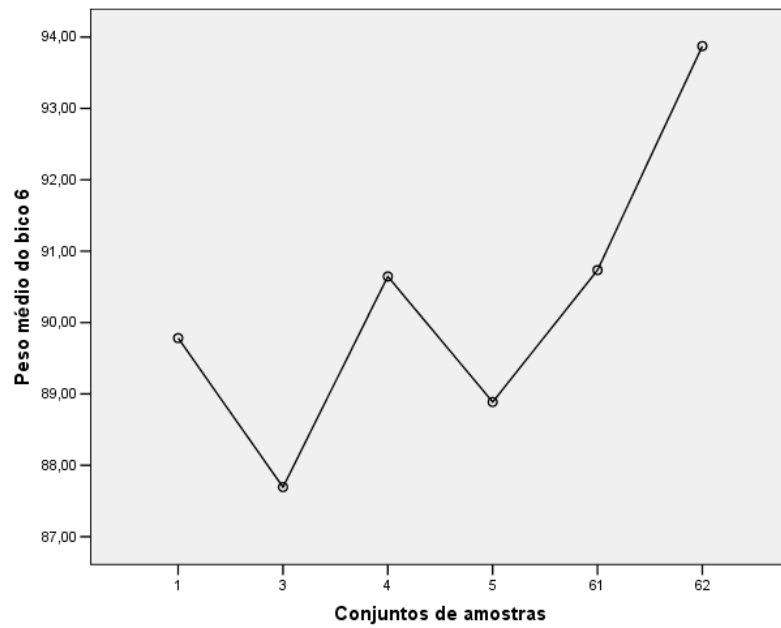


Figura 23 – Plotagem do peso médio do bico 6 para os diversos conjuntos de amostras

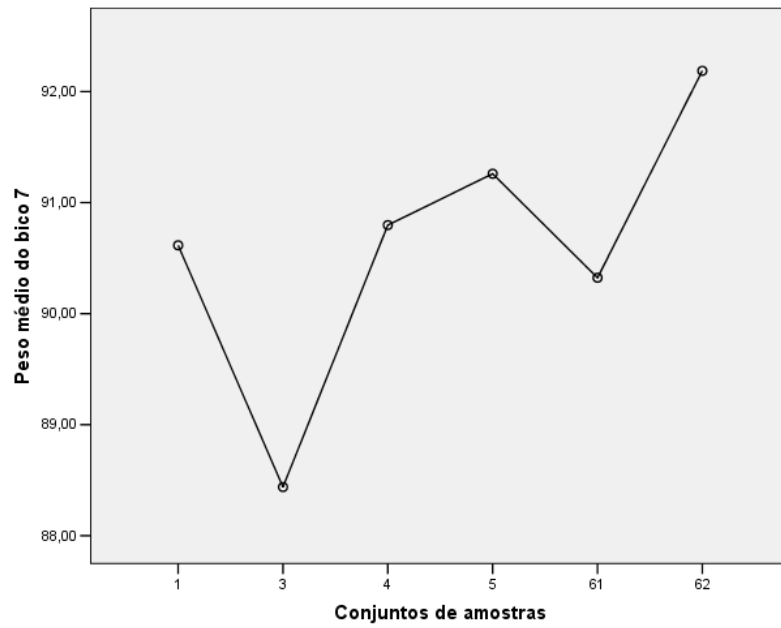


Figura 24 – Plotagem do peso médio do bico 7 para os diversos conjuntos de amostras

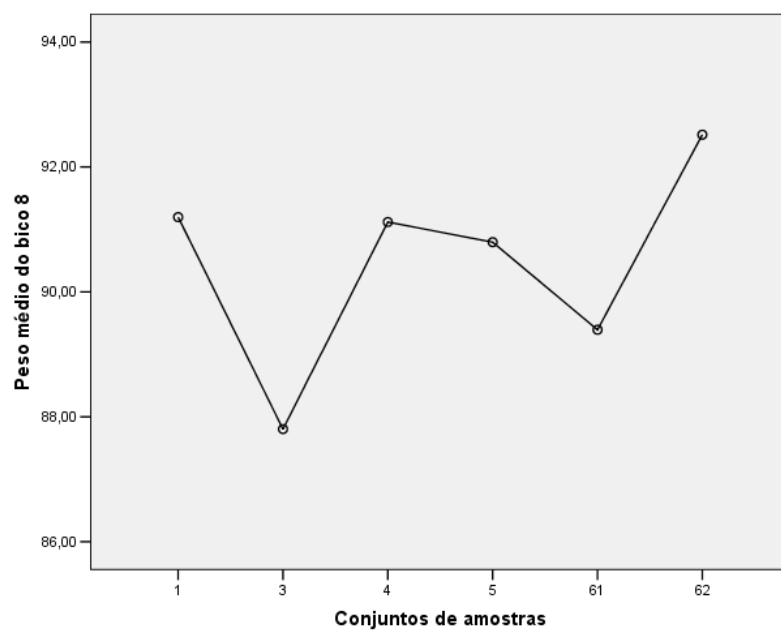


Figura 25 – Plotagem do peso médio do bico 8 para os diversos conjuntos de amostras

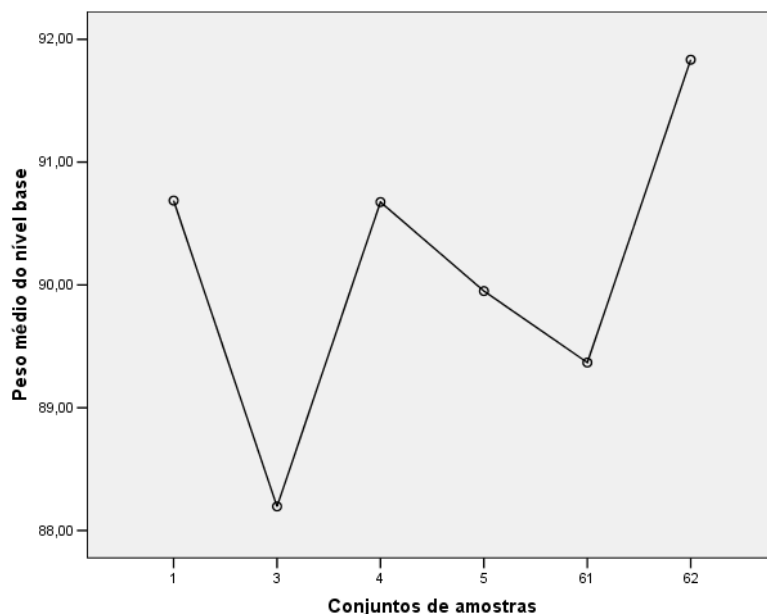


Figura 26 – Plotagem do peso médio do nível-base para os diversos conjuntos de amostras

Como a hipótese de igualdade de variâncias apresentou um p-valor baixo para o bico 6 e a ANOVA para verificar a hipótese se as médias são iguais para diferentes conjuntos de amostras é sensível à comparação de populações com diferenças de variâncias, optou-se por complementar a ANOVA com estatísticas robustas à violação da premissa de variância constante. Assim empregaram-se mais dois testes que são bastante robustos a violação dessa premissa: (1) O primeiro é o de Kruskal-Wallis, que testa a hipótese de as medianas das populações serem iguais; (2) O segundo teste é o de Brown-Forsythe, que testa a hipótese de as médias das populações serem iguais. Os resultados de ambos os testes estão mostrados nas Tabelas 29 e 30.

Teste de Kruskal-Wallis

H₀: A mediana das populações são iguais

H₁: Pelo menos uma é diferente

Tabela 29 – Teste de Kruskal-Wallis para os bicos e nível-base

	Bico1	Bico2	Bico3	Bico4	Bico5	Bico6	Bico7	Bico8	Base
Chi-Square	80,111	90,099	93,818	82,471	70,104	94,598	80,288	87,839	96,903
df	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Asymp. Sig.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Amostra

Para todos os bicos conclui-se que a mediana é diferente em lotes de produção diferentes, ou seja, pelo menos um conjunto de amostras é obtida de uma população diferente – conclusão equivalente à obtida através da ANOVA, que apesar de ter uma premissa violada, demonstrou resultado semelhante ao teste de Kruskal-Wallis. O próximo teste (Tabela 30) obteve resultado semelhante ao da ANOVA e ao de Kruskal-Wallis, não havendo dúvida de que as médias dos bicos são variáveis.

Tabela 30 – Teste robusto de igualdade de médias

		Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Bico1	Brown-Forsythe	63,958	5	66,303	,000
Bico2	Brown-Forsythe	102,334	5	68,954	,000
Bico3	Brown-Forsythe	130,163	5	69,912	,000
Bico4	Brown-Forsythe	76,059	5	73,087	,000
Bico5	Brown-Forsythe	32,835	5	70,254	,000
Bico6	Brown-Forsythe	221,867	5	66,262	,000
Bico7	Brown-Forsythe	77,567	5	49,844	,000
Bico8	Brown-Forsythe	118,524	5	54,360	,000
Base	Brown-Forsythe	296,149	5	69,916	,000

a. Asymptotically F distributed.

Sintetizando essa segunda etapa da análise, concluiu-se que:

- **As médias são diferentes em pelo menos um conjunto de amostras ou lote para cada bico;**
- **As variâncias são semelhantes em conjuntos de amostras diferentes (lotes diferentes) em cada bico.**

A freqüente alteração das médias no tempo provavelmente ocorre devido a dois fatores; o primeiro e talvez mais importante é que, quando o tanque de armazenagem se aproxima do final, ou seja, a emulsão nele contida está terminando, a mesma passa a conter muito ar (espuma), fazendo com que sua densidade diminua. Como o mecanismo de enchimento da máquina admite sempre uma quantidade de volume constante, o peso diminui. Quando o operador detecta que o peso começou a baixar, ele busca compensar essa queda no peso aumentando o volume de enchimento de todos os bicos (ajuste geral). Assim gera uma alteração na regulagem da máquina, que será novamente ajustada quando se iniciar o novo lote de fabricação (*set-up*). No entanto o ajuste realizado nunca será

igual ao anterior, pois a máquina não possui nenhum dispositivo preciso que indique o valor médio do volume. Conseqüentemente haverá uma alteração na média dos pesos em todos os bicos.

O segundo fator é a variação na densidade da emulsão entre lotes de fabricação diferentes, o que também gera uma variação na média. Como já mencionado, a enchedora opera com volume de enchimento constante, o que acarreta alterações nos pesos.

É de se esperar que tanto o ajuste geral do volume como a mudança de densidade dos lotes de produto afetem todos os bicos da mesma forma, ou seja, se um bico estiver dispensando mais volume (peso) que os demais num mesmo conjunto de amostras, ele também deverá dispensar mais produto que os demais bicos nos demais conjuntos de amostras. O mesmo vale para o bico com menor média e para os demais: as médias dos bicos podem mudar, mas mantendo a mesma ordem entre si. Os gráficos a seguir (Figuras 27 a 32) permitem verificar se isso de fato ocorre.

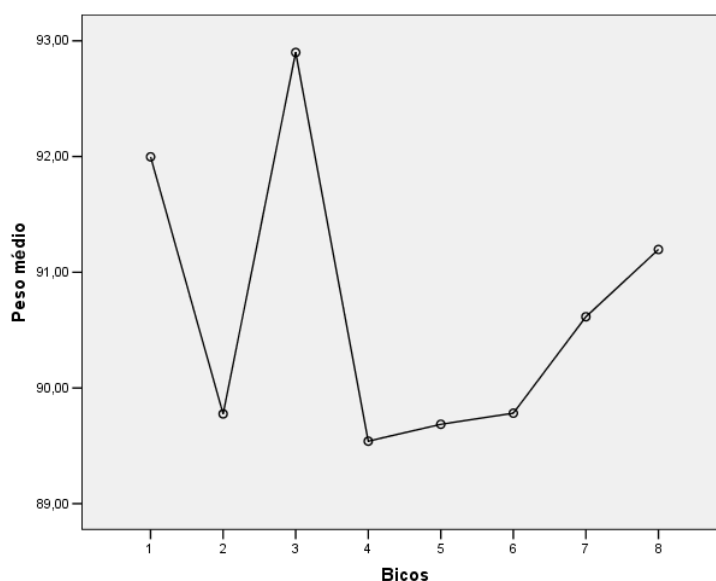


Figura 27 – Plotagem dos pesos médios dos bicos para o conjunto 1 de amostras

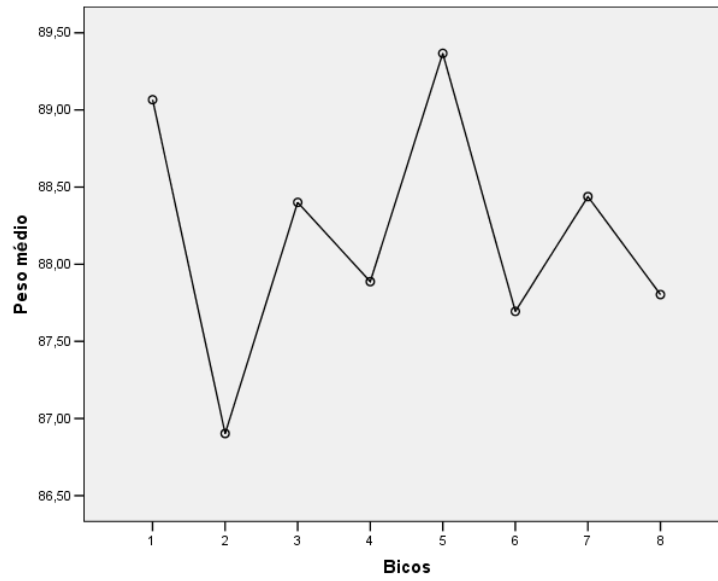


Figura 28 – Plotagem dos pesos médios dos bicos para o conjunto 3 de amostras

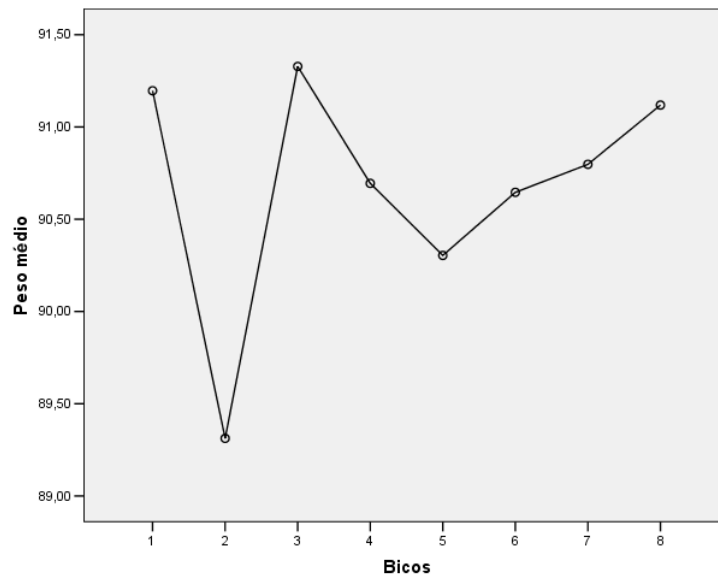


Figura 29 – Plotagem dos pesos médios dos bicos para o conjunto 4 de amostras

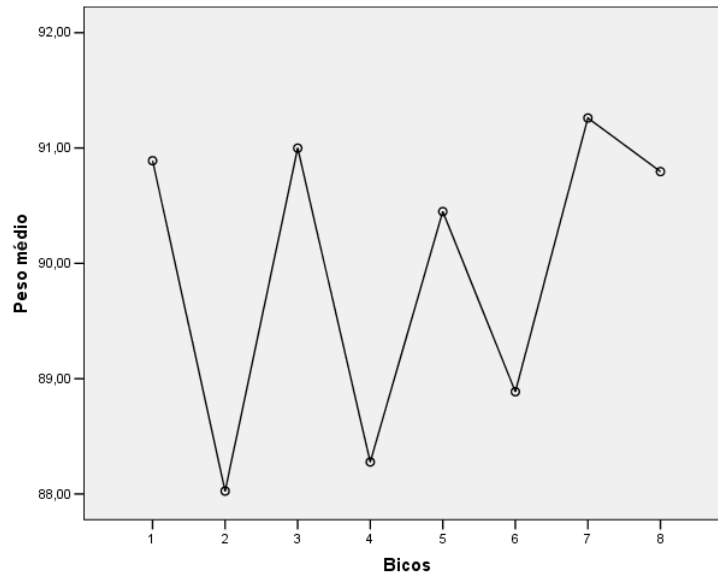


Figura 30 – Plotagem dos pesos médios dos bicos para o conjunto 5 de amostras

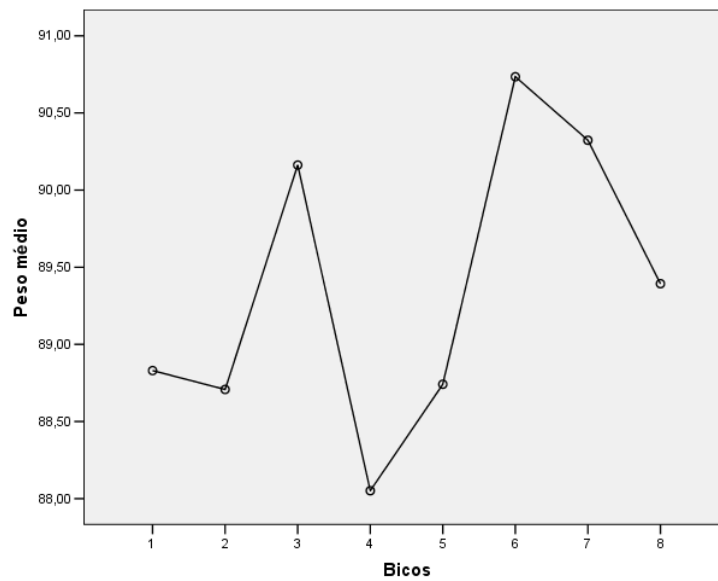


Figura 31 – Plotagem dos pesos médios dos bicos para o conjunto 6.1 de amostras

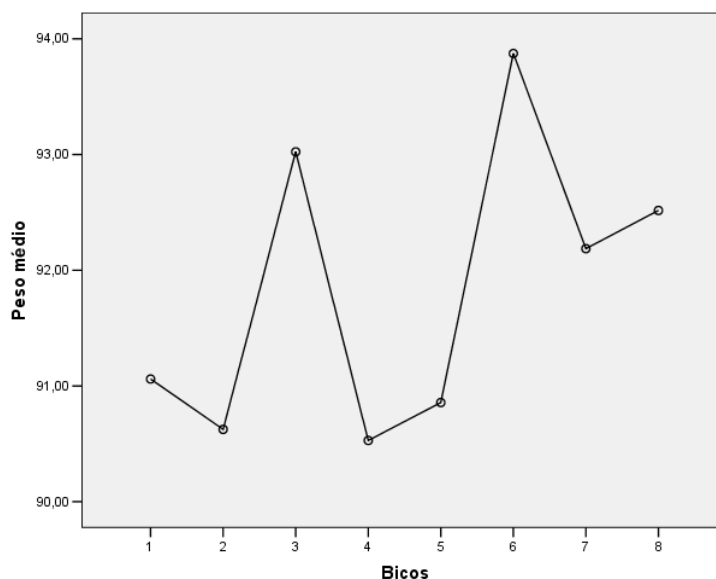


Figura 32 – Plotagem dos pesos médios dos bicos para o conjunto 6.2 de amostras

Os gráficos mostram que um bico não é consistentemente o maior ou o menor. Por exemplo, o bico 3 teve a maior média nos conjuntos de amostras 1 e 4, mas nos conjuntos 3 e 5 os bicos com maiores médias foram o bico 5 e o bico 7 respectivamente. Nos conjuntos 6.1 e 6.2 de amostras o bico 6 apresentou maior média em ambos os lotes, mas o bico com segunda maior média varia, sendo para o conjunto 6.1 o bico 7 e no conjunto 6.2 de amostras o bico 3. Uma possível resposta para esse comportamento dos bicos é que o operador poderia ter ajustado alguns dos bicos (ajuste de peso individual). No entanto, os conjuntos de amostras 4 e 5 foram retirados em dias consecutivos, sem que o operador tenha efetuado qualquer ajuste. Uma outra hipótese dessa variação poderia ter sido causada pela diferença de densidade, o que teria gerado o mesmo bico com o valor máximo da média em todos conjuntos de dados, o que não ocorreu.

Para testar a hipótese que as médias dos bicos variam de lote para lote independentemente da densidade dos lotes, considerar-se-á o conjunto 6 de amostras, onde ocorreu mudança de lote de produto. Calculou-se a média de cada bico nas 26 primeiras observações (antes da mudança do lote) e depois nas demais observações (novo lote) (ou seja, para cada bico obteve-se uma média antes da mudança do lote e outra média depois da mudança do lote). Logo, se supuser que a densidade afete proporcionalmente a todos os bicos, é razoável esperar que as diferenças nas médias dos bicos sejam estatisticamente semelhantes, por exemplo:

$$\mu_{21} - \mu_{11} = \mu_{22} - \mu_{12} = \dots = \mu_{28} - \mu_{18}$$

onde μ_{ij} , $i = 1$ ou 2 representa o lote (primeiro lote e segundo lote) e (j representa o bico = 1, 2, ..., 8).

Tabela 31 – Diferença entre as médias dos bicos antes e após a mudança no lote

	$\mu_{21}-\mu_{11}$	$\mu_{22}-\mu_{12}$	$\mu_{23}-\mu_{13}$	$\mu_{24}-\mu_{14}$	$\mu_{25}-\mu_{15}$	$\mu_{26}-\mu_{16}$	$\mu_{27}-\mu_{17}$	$\mu_{28}-\mu_{18}$	$\mu_{2b}-\mu_{1b}$
$\mu_{2j}-\mu_{1j}$	2,60	2,28	2,69	2,78	2,43	3,28	2,24	3,17	2,68

A Figura 33 representa o gráfico de probabilidade normal (“P-P plot”).

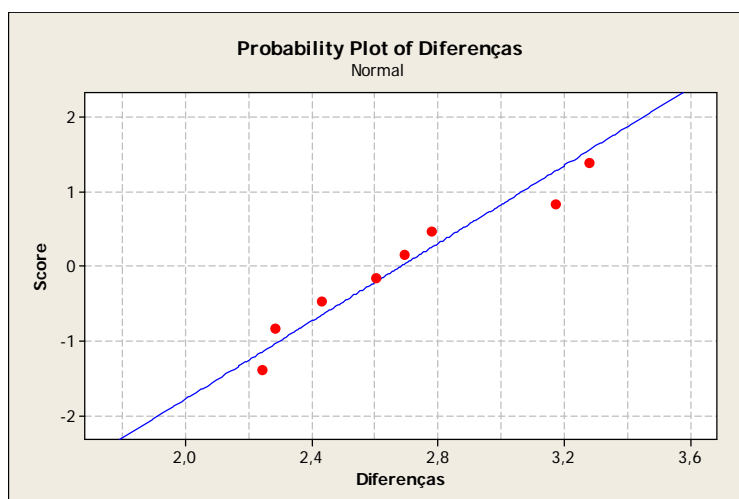


Figura 33 – Gráfico de probabilidade normal

Os pontos não estão propriamente bem alinhados, mas os afastamentos não são muito grandes, de modo que não se pode rejeitar a hipótese que as médias sejam iguais. A variação observada entre as médias tanto pode ser devida apenas à flutuação aleatória natural, como pode haver algum fator, não conhecido, alterando as médias dos bicos de forma não aleatória.

Por fim avaliou-se a suposição de que a média varia quando o tanque de armazenagem se aproxima do final, ou seja, o peso dos bicos diminui à medida que o tanque se aproxima do final, isto é, se o operador não alterar o ajuste geral no sentido de aumentar o volume de enchimento. A análise seguinte levou em consideração os níveis-base para os conjuntos 3, 5 e 6 de amostras.

A Figura 34 mostra as séries temporais do nível-base para o conjuntos 3, 5 e 6.



Figura 34 – Série temporal dos níveis-base para os conjuntos 3, 5, e 6 de amostras

No conjunto 3 de amostras os dados referentes ao primeiro lote vão até a 9^a amostra; da décima em diante, correspondem a outro lote. No conjunto 5 de amostras, os dados do primeiro lote vão até a 23^a amostra e o conjunto 6 de amostras os dados do primeiro lote, vão até a 25^a amostras. Numa primeira inspeção visual, nota-se em todos os gráficos uma queda significativa no peso quando o lote se aproxima do final. Os operadores da máquina afirmam veementemente que o peso sempre diminui quando o tanque se aproxima do fim, devido à espuma contida no final do tanque. Para averiguar esta afirmação, ajustar-se-á uma linha de regressão, à série de observações, e se observará se o coeficiente angular é significativamente negativo.

A série de valores do nível-base com a reta de regressão correspondente estão nas Figuras 35, 37 e 39; as Tabelas 32, 34 e 36 apresentam os resultados da regressão. As Figuras 36, 38 e 40 são os gráficos de probabilidade normal dos resíduos.

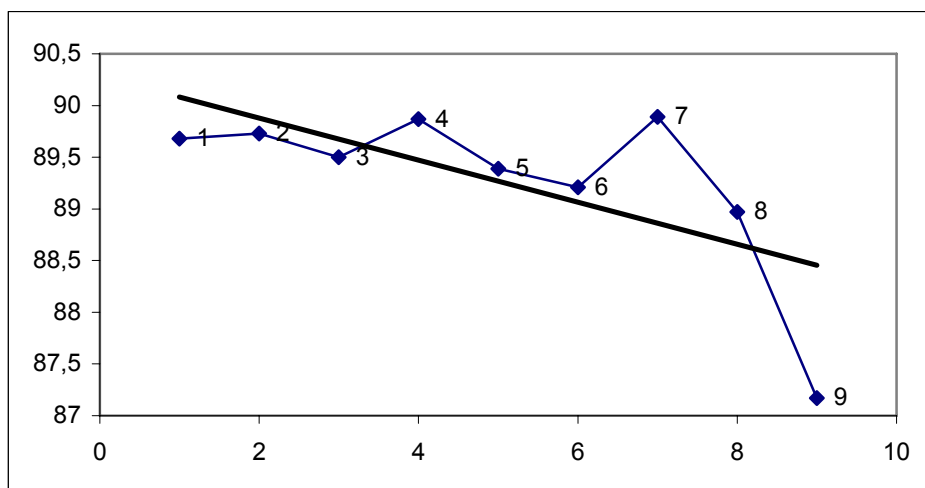


Figura 35 – Regressão linear para o nível-base do conjunto 3 de amostras

Tabela 32 – Sumário do modelo de regressão do conjunto 3 de amostras

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,660 ^a	,436	,355	,67763	1,342

a. Predictors: (Constant), Amostra

b. Dependent Variable: Nível_Base

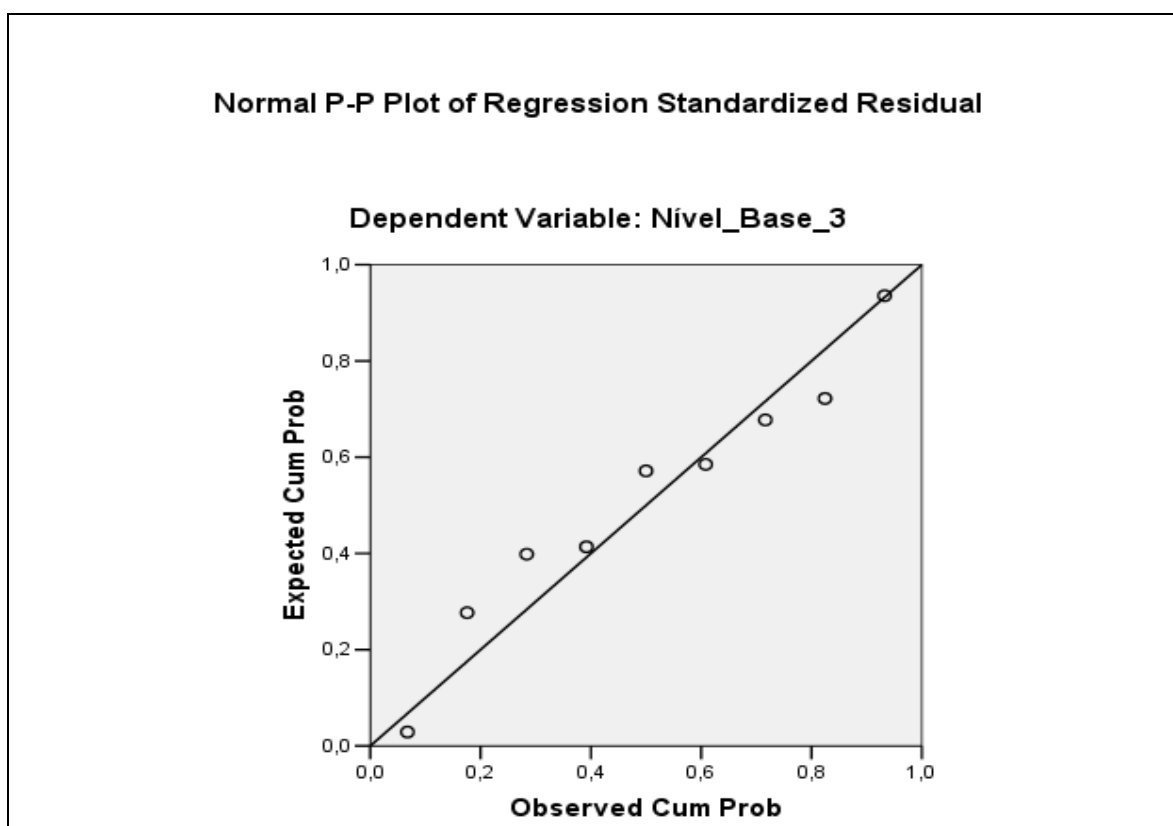


Figura 36 – Plotagem de probabilidade normal dos resíduos padronizados da regressão

Tabela 33 – Coeficientes do modelo de regressão para o conjunto 3 de amostras

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	90,284	,492		183,398	,000
	Amostra	-,203	,087	-,660	-2,324	,053

a. Dependent Variable: Nível_Base

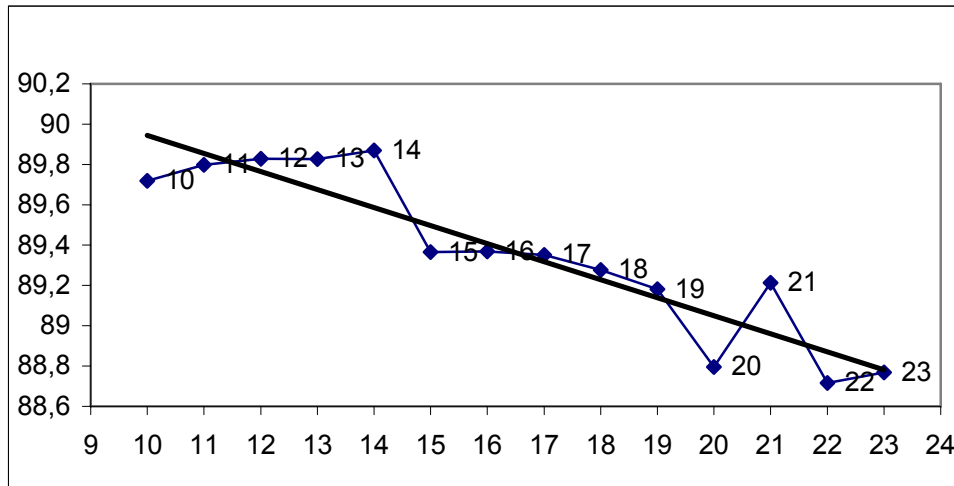


Figura 37 – Regressão linear para o nível-base do conjunto 5 de amostras

Tabela 34 – Sumário do modelo de regressão do conjunto 5 de amostras

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,919 ^a	,844	,831	,16786	2,324

a. Predictors: (Constant), Amostra

b. Dependent Variable: Nível_Base

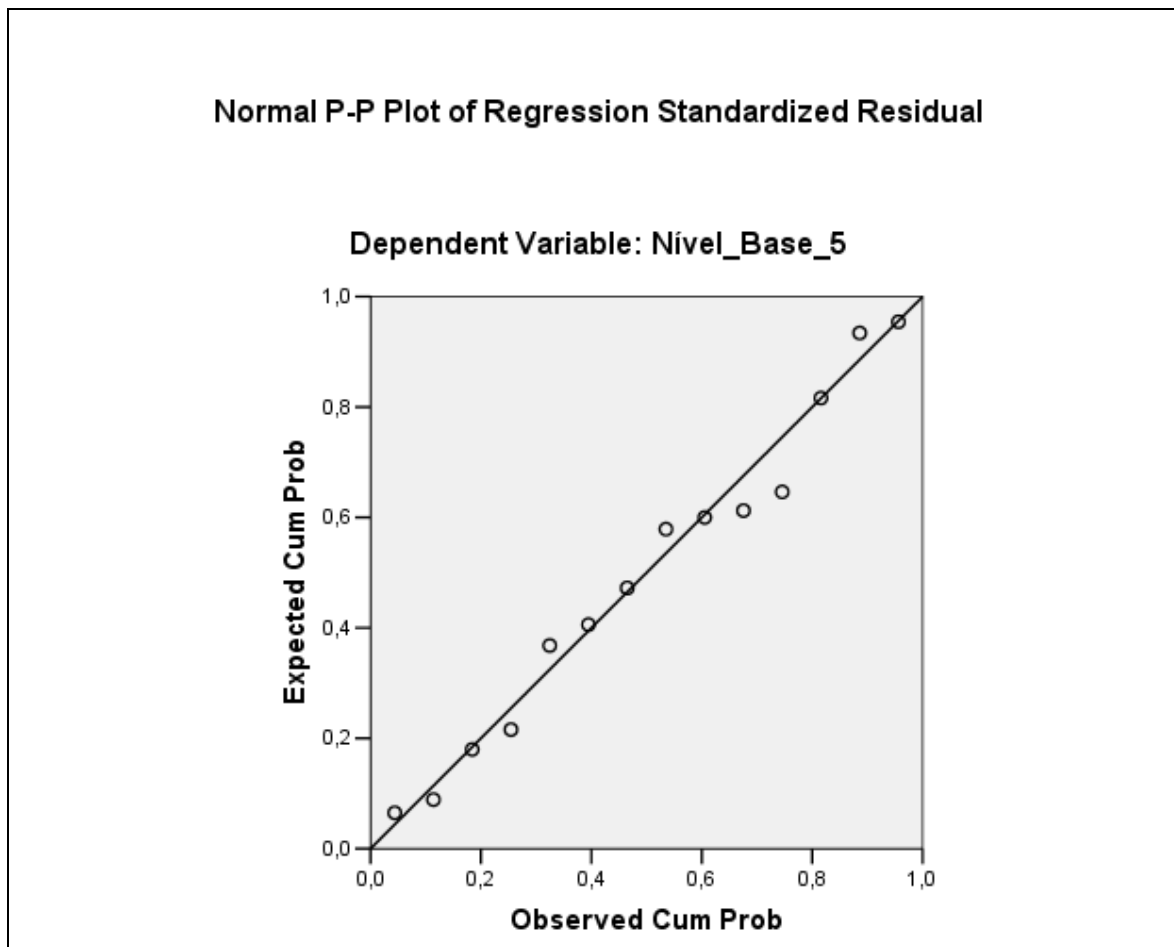


Figura 38 – Plotagem de probabilidade normal dos resíduos padronizados da regressão

Tabela 35 – Coeficientes do modelo de regressão para o conjunto 5 de amostras

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	90,841	,189		480,570	,000
Amostra	-,090	,011	-,919	-8,049	,000

a. Dependent Variable: Nível_Base

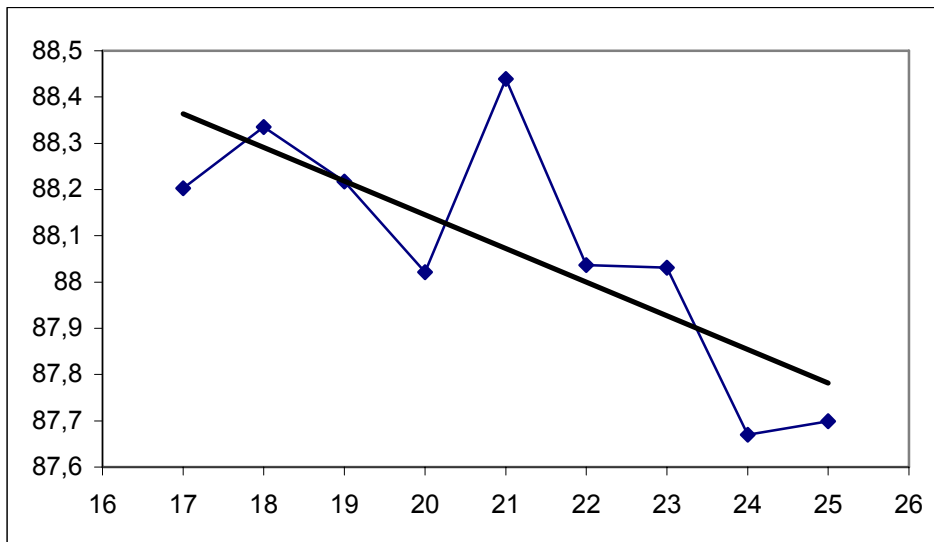


Figura 39 – Regressão linear para o nível-base do conjunto 6 de amostras

Tabela 36 – Sumário do modelo de regressão do conjunto 6 de amostras

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,761 ^a	,580	,520	,18142	2,199

a. Predictors: (Constant), Amostra

b. Dependent Variable: Nível_Base

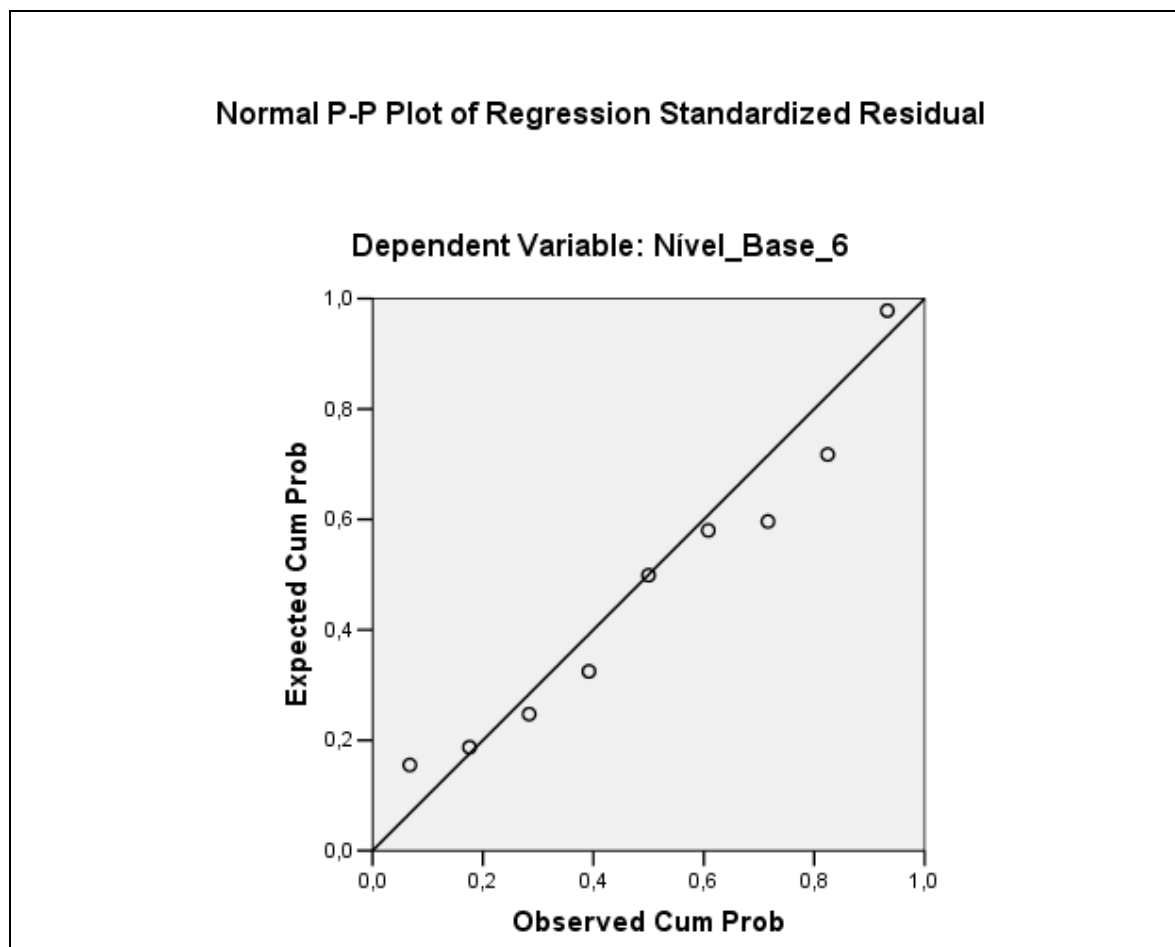


Figura 40 – Plotagem de probabilidade normal dos resíduos padronizados da regressão

Tabela 37 – Coeficientes do modelo de regressão para o conjunto 6 de amstras

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	89,601	,496		180,812	,000
Amostra	-,073	,023	-,761	-3,108	,017

a. Dependent Variable: Nível_Base

Verificando as premissas da regressão:

1. Erro ter distribuição normal com média igual a 0 e;
2. O erro ser probabilisticamente independente.

A premissa número 2 é satisfeita, conforme a estatística d de Durbin-Watson (ver última coluna das tabelas 32, 34 e 36), que apresentaram d próximo de 2, o que significa dizer que os resíduos são não correlacionados, ou seja, não há evidência suficiente para

concluir que os erros sejam autocorrelacionados. Com relação aos erros serem normalmente distribuídos, os gráficos de probabilidade acima (“P-P plots”) não mostram afastamentos significativos da normalidade em nenhum dos 3 conjuntos analisados (ainda que para o conjunto 3 a distribuição apresente caudas ligeiramente mais pesadas que o esperado).

Como as premissas sobre a distribuição de probabilidades do erro foram satisfeitas, podem-se analisar os coeficientes angulares (Beta) acima para verificar se eles são significativamente diferentes de zero, ou melhor, se são negativos. Com um α de 5 % pode-se rejeitar a hipótese de eles serem nulos, com exceção do conjunto 3 de amostras, onde o *p-value* foi 5,3%, o que ainda nos leva a rejeição da hipótese nula.

Concluindo a análise exploratória, eis os problemas encontrados, relativos ao processo em questão:

- 1. Médias distintas entre os bicos;**
- 2. Mudança na média quando o tanque de armazenagem se aproxima do final;**
- 3. Médias diferentes em lotes diferentes num mesmo bico.**

O objetivo da análise exploratória é justamente conhecer o processo. Os pontos acima foram chamados de “problemas” por que não existe um esquema de CEP que contemple processos com essas características. A seguir enumeraram-se as abordagens existentes para controle de processos com múltiplos canais e comentam-se as razões pelas quais tais métodos não são aplicáveis.

- 1. A “group charts” clássica não pode ser aplicada porque as médias dos bicos são diferentes;**
- 2. Utilizar uma group chart com dados padronizados também não é possível pois a média do processo é variável;**
- 3. Impossibilidade de se estabelecer parâmetros para uma group chart de diferenças, pois o processo possui média variável. Logo não se terá como determinar os limites de controle;**
- 4. O fato de a média ser variável também tornará proibitiva a utilização da padronização das diferenças;**

5. O modelo de Mortell e Runger do mesmo modo será inviável, pois os X_i 's não são amostras de uma mesma distribuição.

Pela inexistência de esquemas com tais características para o processo, o capítulo seguinte apresentará uma proposta original.

Complementando a análise, as tabelas 43 a 48 representam as matrizes de correlações cruzadas para os conjuntos de amostras válidos, e as Figuras 41 a 46 apresentam os correlogramas. Tais matrizes e correlogramas são apresentadas com o propósito de completar a compreensão do processo. Correlações cruzadas positivas surgem em processos multicanal devido a parcela comum de variação, e tendem a ser tão maiores quanto maior a razão entre a variabilidade desta parcela e a variabilidade das parcelas “residuais” de cada canal.

Observa-se que há várias correlações significativas, embora algumas sejam pequenas. De qualquer forma, os conjuntos de amostras possuem às vezes poucos pontos e algumas causas especiais não identificadas podem estar afetando os resultados. Vale comentar que esta análise é meramente informativa, pois (adiantando a informação) tais correlações não têm influência sobre o esquema de CEP que será proposto.

Tabela 38 – Matriz de correlação para o conjunto 1 de amostras

		Bico1	Bico2	Bico3	Bico4	Bico5	Bico6	Bico7	Bico8	Base
Bico1	Pearson Correlation	1	,497 *	,460 *	,605 **	,638 **	,550 *	,079	,540 *	,859 **
	Sig. (1-tailed)		,030	,042	,008	,005	,017	,389	,019	,000
	N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Bico2	Pearson Correlation	,497 *	1	-,061	,629 **	,359	,123	,090	-,061	,527 *
	Sig. (1-tailed)	,030		,415	,006	,094	,331	,375	,414	,022
	N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Bico3	Pearson Correlation	,460 *	-,061	1	,202	,217	,332	,302	,747 **	,595 **
	Sig. (1-tailed)	,042	,415		,235	,219	,114	,137	,001	,010
	N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Bico4	Pearson Correlation	,605 **	,629 **	,202	1	,743 **	,452 *	,064	,522 *	,829 **
	Sig. (1-tailed)	,008	,006	,235		,001	,045	,410	,023	,000
	N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Bico5	Pearson Correlation	,638 **	,359	,217	,743 **	1	,532 *	,028	,482 *	,774 **
	Sig. (1-tailed)	,005	,094	,219	,001		,021	,461	,034	,000
	N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Bico6	Pearson Correlation	,550 *	,123	,332	,452 *	,532 *	1	-,013	,539 *	,645 **
	Sig. (1-tailed)	,017	,331	,114	,045	,021		,482	,019	,005
	N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Bico7	Pearson Correlation	,079	,090	,302	,064	,028	-,013	1	-,101	,259
	Sig. (1-tailed)	,389	,375	,137	,410	,461	,482		,360	,176
	N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Bico8	Pearson Correlation	,540 *	-,061	,747 **	,522 *	,482 *	,539 *	-,101	1	,697 **
	Sig. (1-tailed)	,019	,414	,001	,023	,034	,019	,360		,002
	N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Base	Pearson Correlation	,859 **	,527 *	,595 **	,829 **	,774 **	,645 **	,259	,697 **	1
	Sig. (1-tailed)	,000	,022	,010	,000	,000	,005	,176	,002	
	N	15	15	15	15	15	15	15	15	15

*. Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

Tabela 39 – Matriz de correlação para o conjunto 3 de amostras

		Bico1	Bico2	Bico3	Bico4	Bico5	Bico6	Bico7	Bico8	Base
Bico1	Pearson Correlation	1	,217	,270	,233	-,078	,116	,348 *	,209	,502 **
	Sig. (1-tailed)		,124	,075	,108	,341	,271	,030	,134	,002
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Bico2	Pearson Correlation	,217	1	,175	,211	,005	,280	,016	,129	,452 **
	Sig. (1-tailed)	,124		,177	,131	,489	,067	,466	,248	,006
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Bico3	Pearson Correlation	,270	,175	1	,342 *	,077	-,326 *	,016	,234	,421 *
	Sig. (1-tailed)	,075	,177		,032	,342	,039	,467	,107	,010
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Bico4	Pearson Correlation	,233	,211	,342 *	1	,289	,015	,198	,608 **	,742 **
	Sig. (1-tailed)	,108	,131	,032		,060	,468	,148	,000	,000
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Bico5	Pearson Correlation	-,078	,005	,077	,289	1	,441 **	-,010	,437 **	,561 **
	Sig. (1-tailed)	,341	,489	,342	,060		,007	,480	,008	,001
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Bico6	Pearson Correlation	,116	,280	-,326 *	,015	,441 **	1	-,051	,067	,372 *
	Sig. (1-tailed)	,271	,067	,039	,468	,007		,394	,363	,022
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Bico7	Pearson Correlation	,348 *	,016	,016	,198	-,010	-,051	1	,087	,357 *
	Sig. (1-tailed)	,030	,466	,467	,148	,480	,394		,323	,026
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Bico8	Pearson Correlation	,209	,129	,234	,608 **	,437 **	,067	,087	1	,711 **
	Sig. (1-tailed)	,134	,248	,107	,000	,008	,363	,323		,000
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Base	Pearson Correlation	,502 **	,452 **	,421 *	,742 **	,561 **	,372 *	,357 *	,711 **	1
	Sig. (1-tailed)	,002	,006	,010	,000	,001	,022	,026	,000	
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30

*. Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

Tabela 40 – Matriz de correlação para o conjunto 4 de amostras

		Bico1	Bico2	Bico3	Bico4	Bico5	Bico6	Bico7	Bico8	Base
Bico1	Pearson Correlation	1	,243	,450 **	,337 *	,317 *	,180	,275 *	,387 **	,796 **
	Sig. (1-tailed)		,071	,002	,019	,026	,140	,047	,008	,000
	N	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Bico2	Pearson Correlation	,243	1	,344 *	,054	,299 *	,312 *	,048	-,069	,494 **
	Sig. (1-tailed)	,071		,017	,373	,034	,028	,387	,340	,001
	N	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Bico3	Pearson Correlation	,450 **	,344 *	1	,097	,224	,016	,214	,140	,620 **
	Sig. (1-tailed)	,002	,017		,282	,088	,463	,098	,201	,000
	N	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Bico4	Pearson Correlation	,337 *	,054	,097	1	,265	-,105	-,060	,335 *	,466 **
	Sig. (1-tailed)	,019	,373	,282		,054	,265	,361	,020	,002
	N	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Bico5	Pearson Correlation	,317 *	,299 *	,224	,265	1	,134	-,026	,364 *	,556 **
	Sig. (1-tailed)	,026	,034	,088	,054		,211	,438	,012	,000
	N	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Bico6	Pearson Correlation	,180	,312 *	,016	-,105	,134	1	,018	-,063	,339 *
	Sig. (1-tailed)	,140	,028	,463	,265	,211		,456	,353	,019
	N	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Bico7	Pearson Correlation	,275 *	,048	,214	-,060	-,026	,018	1	,199	,385 **
	Sig. (1-tailed)	,047	,387	,098	,361	,438	,456		,115	,008
	N	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Bico8	Pearson Correlation	,387 **	-,069	,140	,335 *	,364 *	-,063	,199	1	,549 **
	Sig. (1-tailed)	,008	,340	,201	,020	,012	,353	,115		,000
	N	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Base	Pearson Correlation	,796 **	,494 **	,620 **	,466 **	,556 **	,339 *	,385 **	,549 **	1
	Sig. (1-tailed)	,000	,001	,000	,002	,000	,019	,008	,000	
	N	38	38	38	38	38	38	38	38	38

**. Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed).

Tabela 41 - Matriz de correlação para o conjunto 5 de amostras

		Bico1	Bico2	Bico3	Bico4	Bico5	Bico6	Bico7	Bico8	Base
Bico1	Pearson Correlation	1	,565	-,530	,164	,948 **	,415	,633 *	,258	,823 **
	Sig. (1-tailed)		,056	,071	,337	,000	,133	,034	,251	,003
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Bico2	Pearson Correlation	,565	1	-,450	,356	,738 *	,465	,585 *	,464	,807 **
	Sig. (1-tailed)	,056		,112	,174	,012	,104	,049	,104	,004
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Bico3	Pearson Correlation	-,530	-,450	1	,370	-,489	-,394	-,552	,007	-,239
	Sig. (1-tailed)	,071	,112		,163	,091	,147	,062	,493	,268
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Bico4	Pearson Correlation	,164	,356	,370	1	,220	-,357	,118	,481	,563
	Sig. (1-tailed)	,337	,174	,163		,285	,173	,381	,095	,057
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Bico5	Pearson Correlation	,948 **	,738 *	-,489	,220	1	,447	,569	,455	,902 **
	Sig. (1-tailed)	,000	,012	,091	,285		,114	,055	,109	,000
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Bico6	Pearson Correlation	,415	,465	-,394	-,357	,447	1	,381	,018	,353
	Sig. (1-tailed)	,133	,104	,147	,173	,114		,156	,482	,176
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Bico7	Pearson Correlation	,633 *	,585 *	-,552	,118	,569	,381	1	-,204	,601 *
	Sig. (1-tailed)	,034	,049	,062	,381	,055	,156		,300	,043
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Bico8	Pearson Correlation	,258	,464	,007	,481	,455	,018	-,204	1	,545
	Sig. (1-tailed)	,251	,104	,493	,095	,109	,482	,300		,064
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Base	Pearson Correlation	,823 **	,807 **	-,239	,563	,902 **	,353	,601 *	,545	1
	Sig. (1-tailed)	,003	,004	,268	,057	,000	,176	,043	,064	
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9

** . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed).

Tabela 42 – Matriz de correlação para o conjunto 6.1 de amostras

		Bico1	Bico2	Bico3	Bico4	Bico5	Bico6	Bico7	Bico8	Base
Bico1	Pearson Correlation	1	,296	,361	,045	-,104	,698 **	-,344	,478 *	,750 **
	Sig. (1-tailed)		,163	,113	,442	,367	,004	,125	,049	,002
	N	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Bico2	Pearson Correlation	,296	1	,363	-,014	-,173	-,153	-,551 *	-,197	,201
	Sig. (1-tailed)	,163		,111	,482	,286	,309	,025	,259	,255
	N	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Bico3	Pearson Correlation	,361	,363	1	-,707 **	-,213	,259	,104	,104	,535 *
	Sig. (1-tailed)	,113	,111		,003	,242	,196	,367	,367	,030
	N	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Bico4	Pearson Correlation	,045	-,014	-,707 **	1	,406	,051	-,581 *	,077	-,069
	Sig. (1-tailed)	,442	,482	,003		,084	,435	,019	,401	,411
	N	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Bico5	Pearson Correlation	-,104	-,173	-,213	,406	1	,110	-,141	-,057	,131
	Sig. (1-tailed)	,367	,286	,242	,084		,360	,323	,427	,335
	N	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Bico6	Pearson Correlation	,698 **	-,153	,259	,051	,110	1	,012	,676 **	,834 **
	Sig. (1-tailed)	,004	,309	,196	,435	,360		,485	,006	,000
	N	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Bico7	Pearson Correlation	-,344	-,551 *	,104	-,581 *	-,141	,012	1	,000	-,008
	Sig. (1-tailed)	,125	,025	,367	,019	,323	,485		,500	,489
	N	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Bico8	Pearson Correlation	,478 *	-,197	,104	,077	-,057	,676 **	,000	1	,644 **
	Sig. (1-tailed)	,049	,259	,367	,401	,427	,006	,500		,009
	N	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Base	Pearson Correlation	,750 **	,201	,535 *	-,069	,131	,834 **	-,008	,644 **	1
	Sig. (1-tailed)	,002	,255	,030	,411	,335	,000	,489	,009	
	N	13	13	13	13	13	13	13	13	13

** . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed).

Tabela 43 – Matriz de correlação para o conjunto 6.2 de amostras

		Bico1	Bico2	Bico3	Bico4	Bico5	Bico6	Bico7	Bico8	Base
Bico1	Pearson Correlation	1	,733 *	-,164	,294	,461	,540	,177	,200	,766 **
	Sig. (1-tailed)		,012	,336	,221	,106	,067	,324	,303	,008
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Bico2	Pearson Correlation	,733 *	1	-,485	,169	,882 **	,738 *	,038	,583 *	,886 **
	Sig. (1-tailed)	,012		,093	,332	,001	,012	,461	,050	,001
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Bico3	Pearson Correlation	-,164	-,485	1	-,213	-,504	-,719 *	,080	-,957 **	-,552
	Sig. (1-tailed)	,336	,093		,291	,083	,014	,419	,000	,062
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Bico4	Pearson Correlation	,294	,169	-,213	1	,378	,424	,206	,166	,559
	Sig. (1-tailed)	,221	,332	,291		,158	,128	,297	,334	,059
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Bico5	Pearson Correlation	,461	,882 **	-,504	,378	1	,805 **	-,106	,641 *	,878 **
	Sig. (1-tailed)	,106	,001	,083	,158		,004	,393	,031	,001
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Bico6	Pearson Correlation	,540	,738 *	-,719 *	,424	,805 **	1	-,376	,813 **	,878 **
	Sig. (1-tailed)	,067	,012	,014	,128	,004		,159	,004	,001
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Bico7	Pearson Correlation	,177	,038	,080	,206	-,106	-,376	1	-,220	,024
	Sig. (1-tailed)	,324	,461	,419	,297	,393	,159		,284	,475
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Bico8	Pearson Correlation	,200	,583 *	-,957 **	,166	,641 *	,813 **	-,220	1	,632 *
	Sig. (1-tailed)	,303	,050	,000	,334	,031	,004	,284		,034
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Base	Pearson Correlation	,766 **	,886 **	-,552	,559	,878 **	,878 **	,024	,632 *	1
	Sig. (1-tailed)	,008	,001	,062	,059	,001	,001	,475	,034	
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9

*. Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

As Figuras 41 a 46 como já mencionado apresentam os correlogramas para os diversos conjuntos de amostras. Pode-se observar que não há autocorrelação significativa. Há um único coeficiente de correlação significativo, o de “lag” 1, no nível-base, para o conjunto 4 de amostras, mas, dados o grande número de correlogramas e a coerência de seus resultados, tal ocorrência pode ser considerada espúria, e possivelmente devida a alguma causa especial.

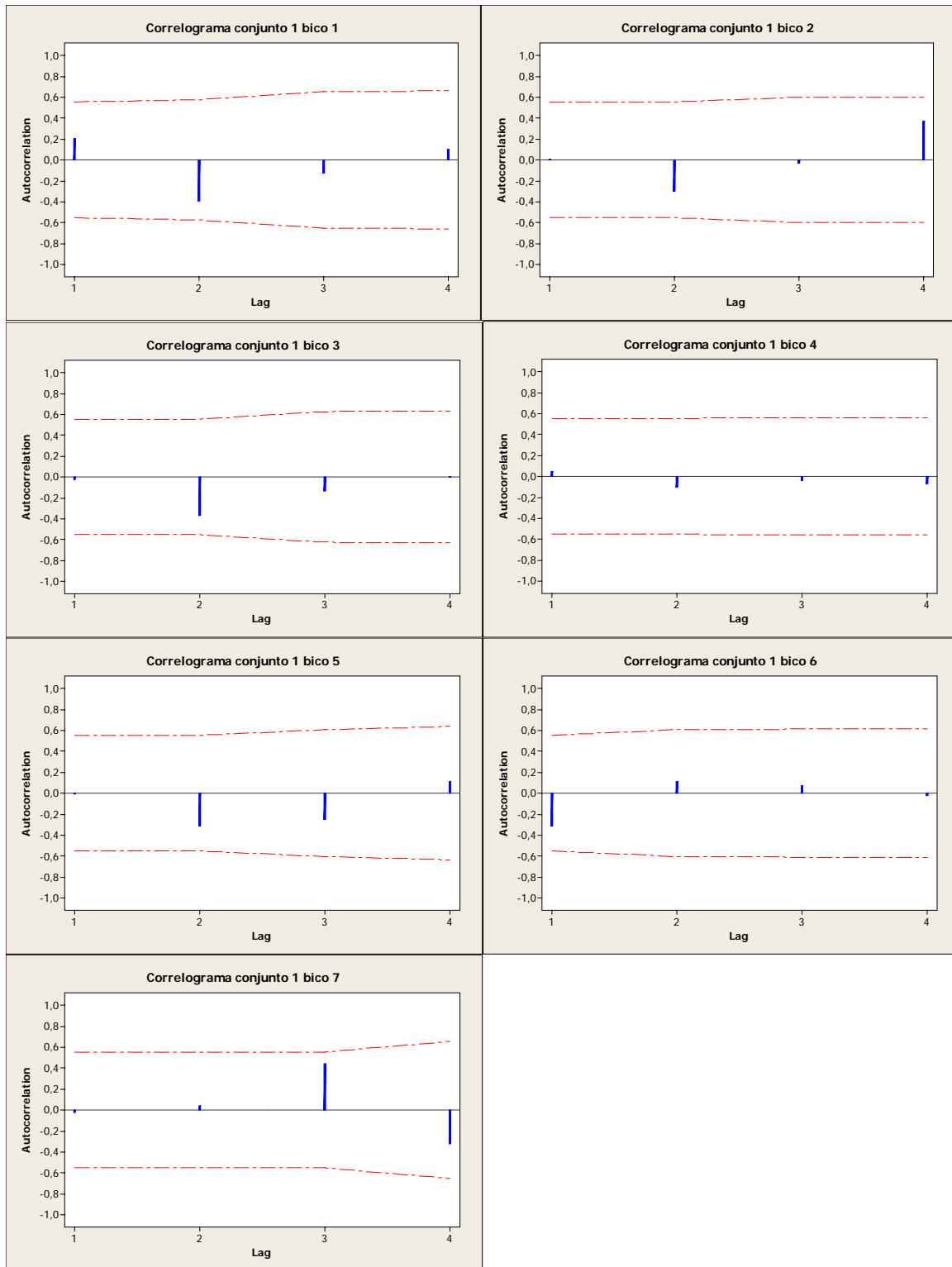


Figura 41 – Correlogramas de todos os bicos e nível-base para o conjuntos 1 de amostras

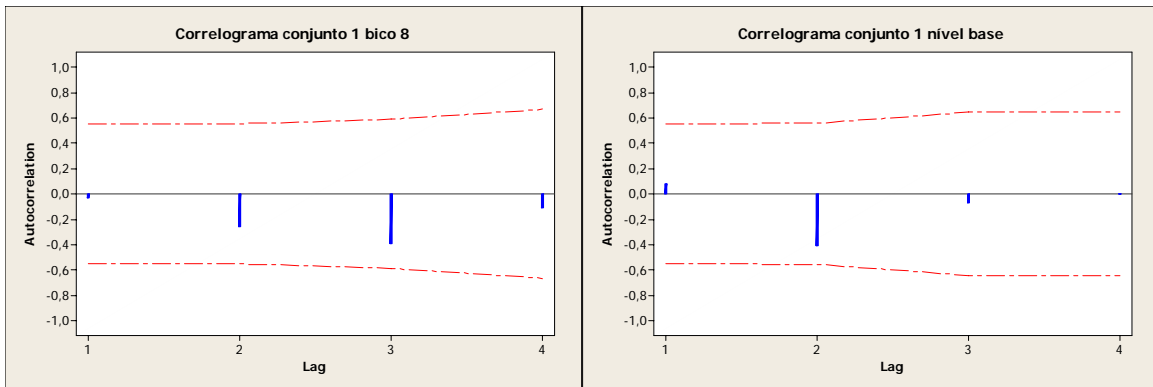


Figura 41 – Continuação

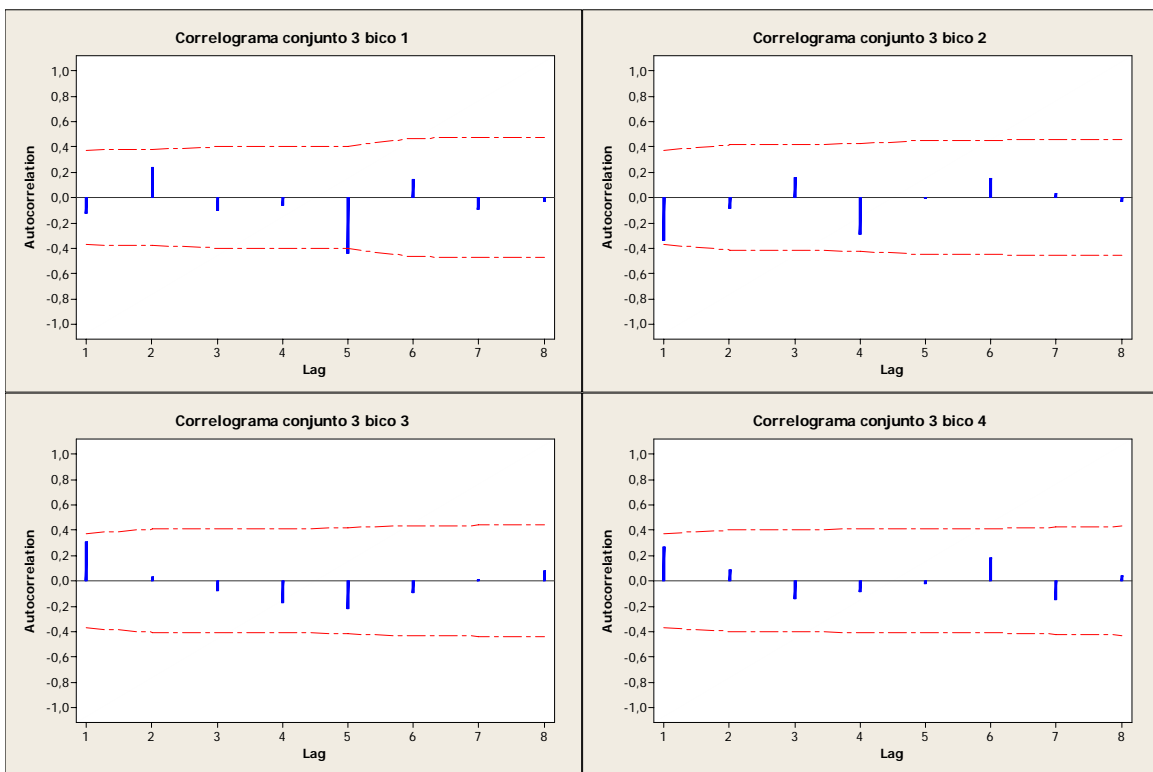


Figura 42 – Correlogramas de todos os bicos e nível-base para o conjuntos 3 de amostras

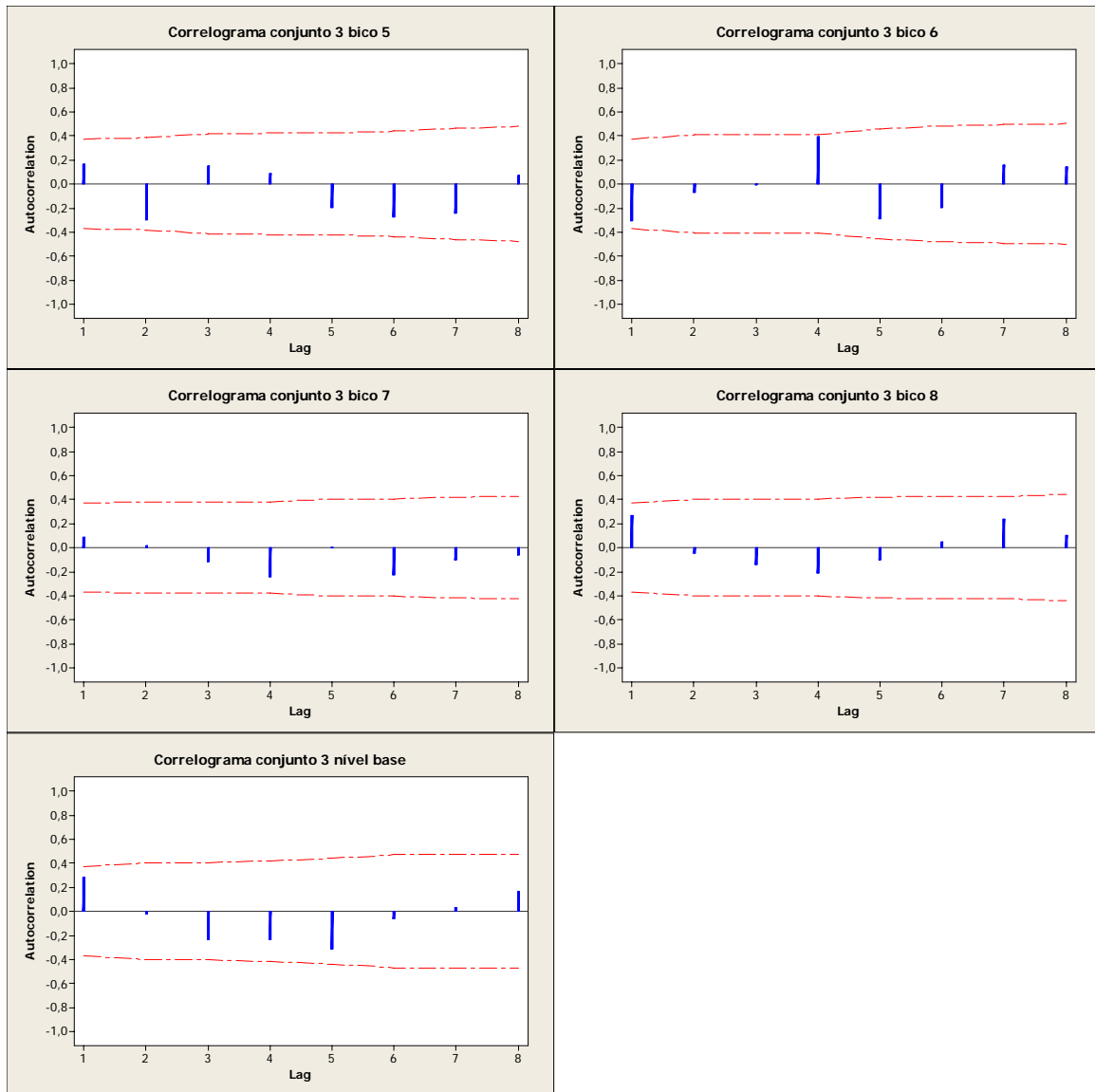


Figura 42 – Continuação

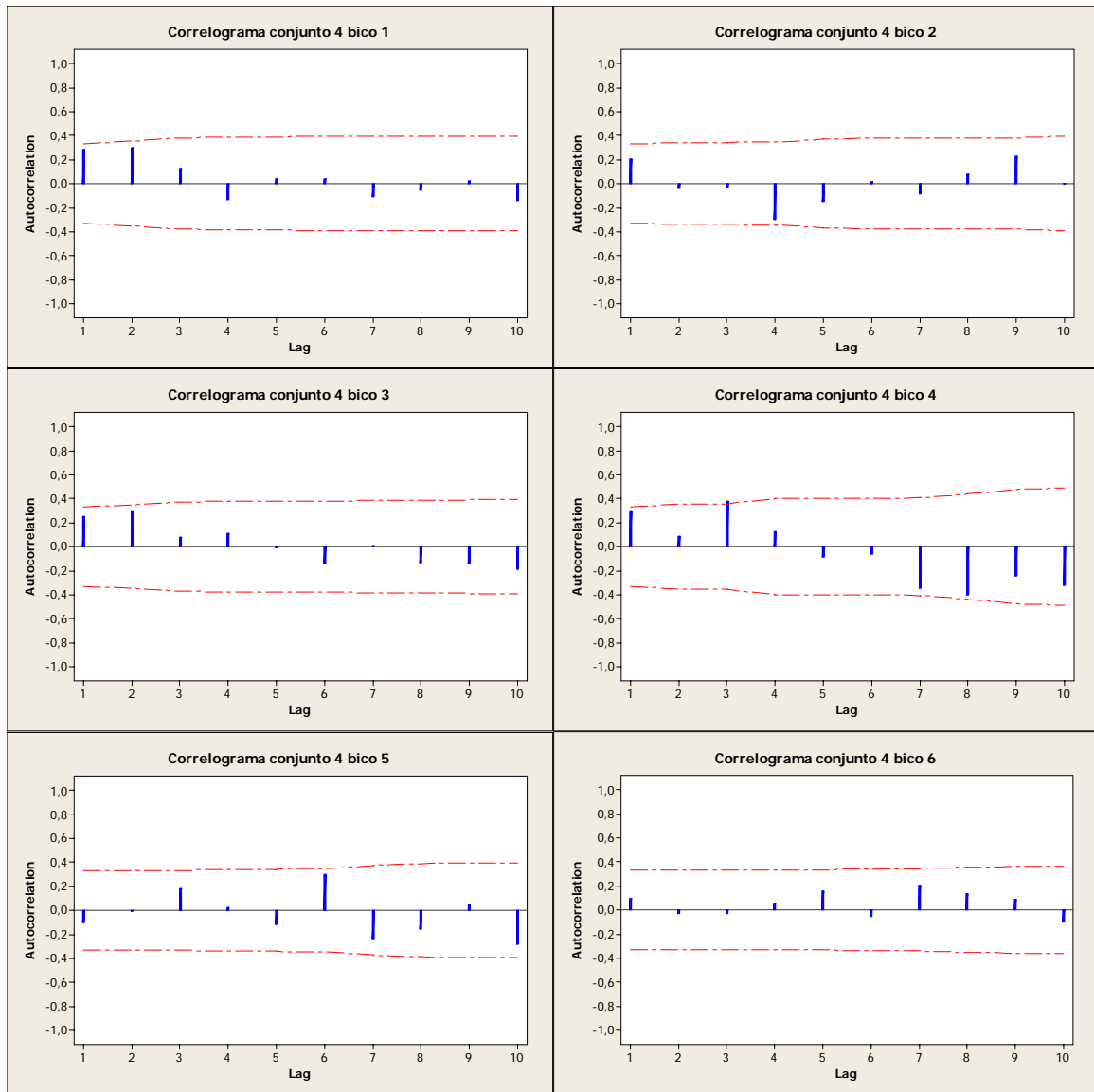


Figura 43 – Correlogramas de todos os bicos e nível-base para o conjuntos 4 de amostras

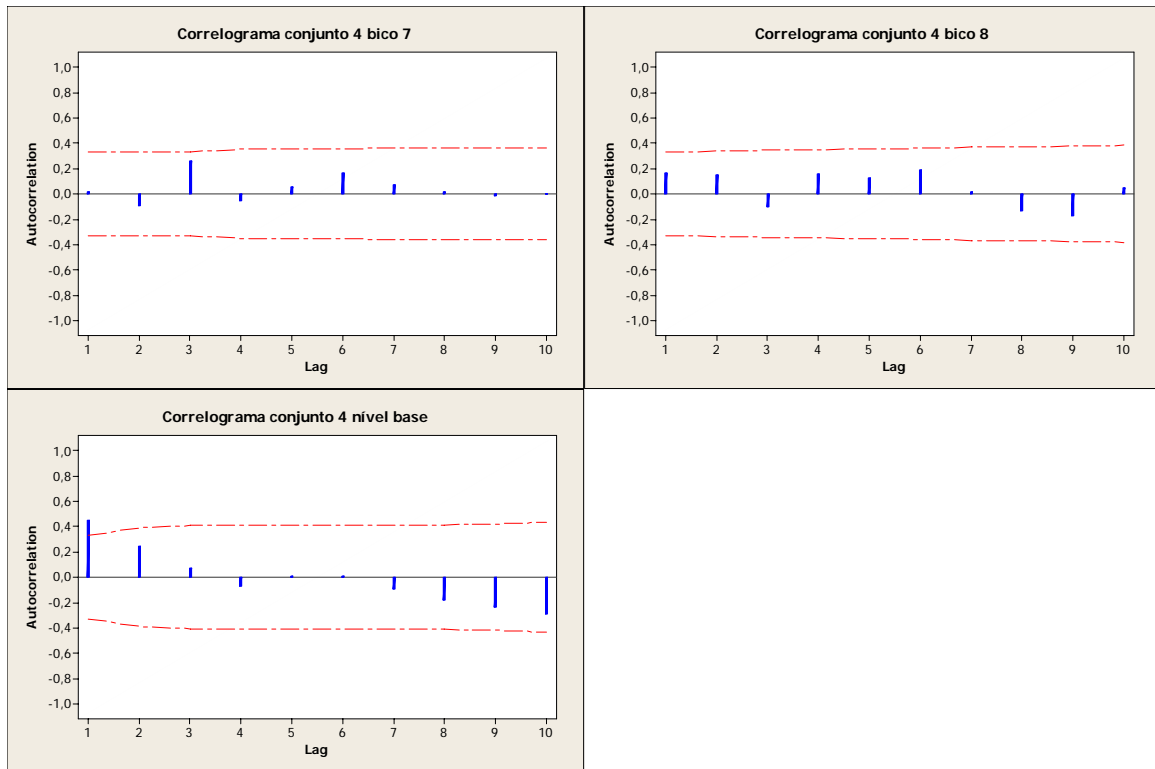


Figura 43 – Continuação

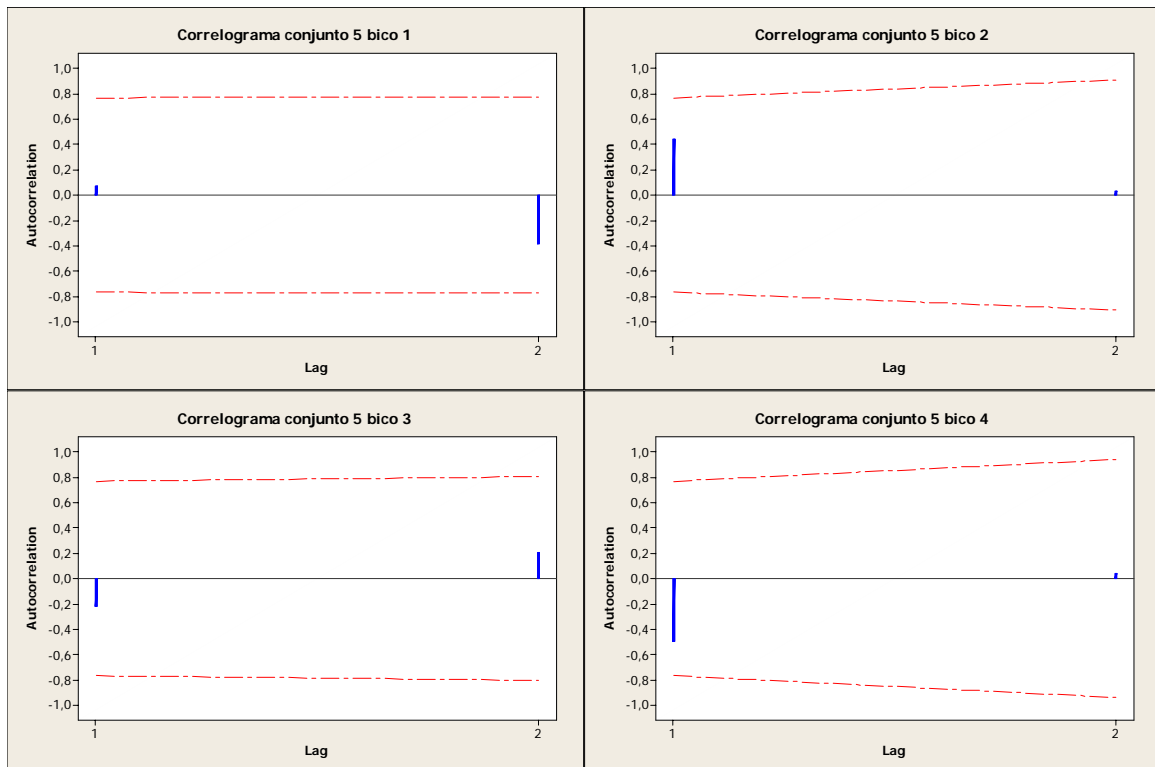


Figura 44 – Correlogramas de todos os bicos e nível-base para o conjuntos 5 de amostras

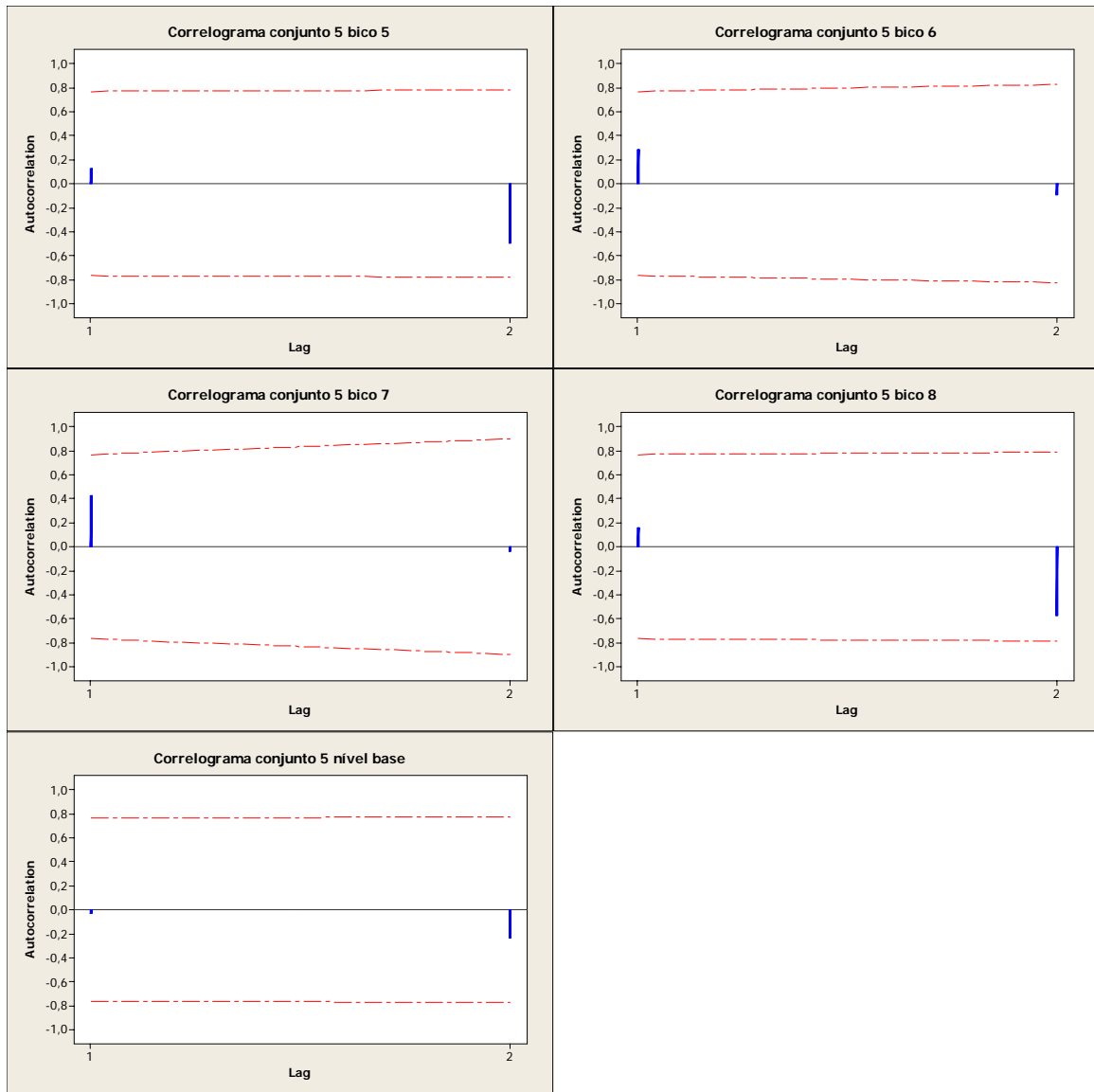


Figura 44 – Continuação

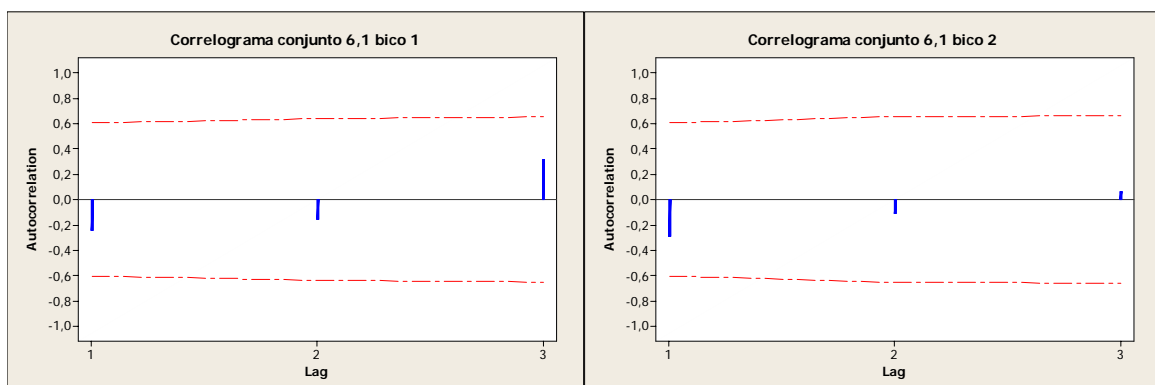


Figura 45 – Correlogramas de todos os bicos e nível-base para o conjuntos 6.1 de amostras

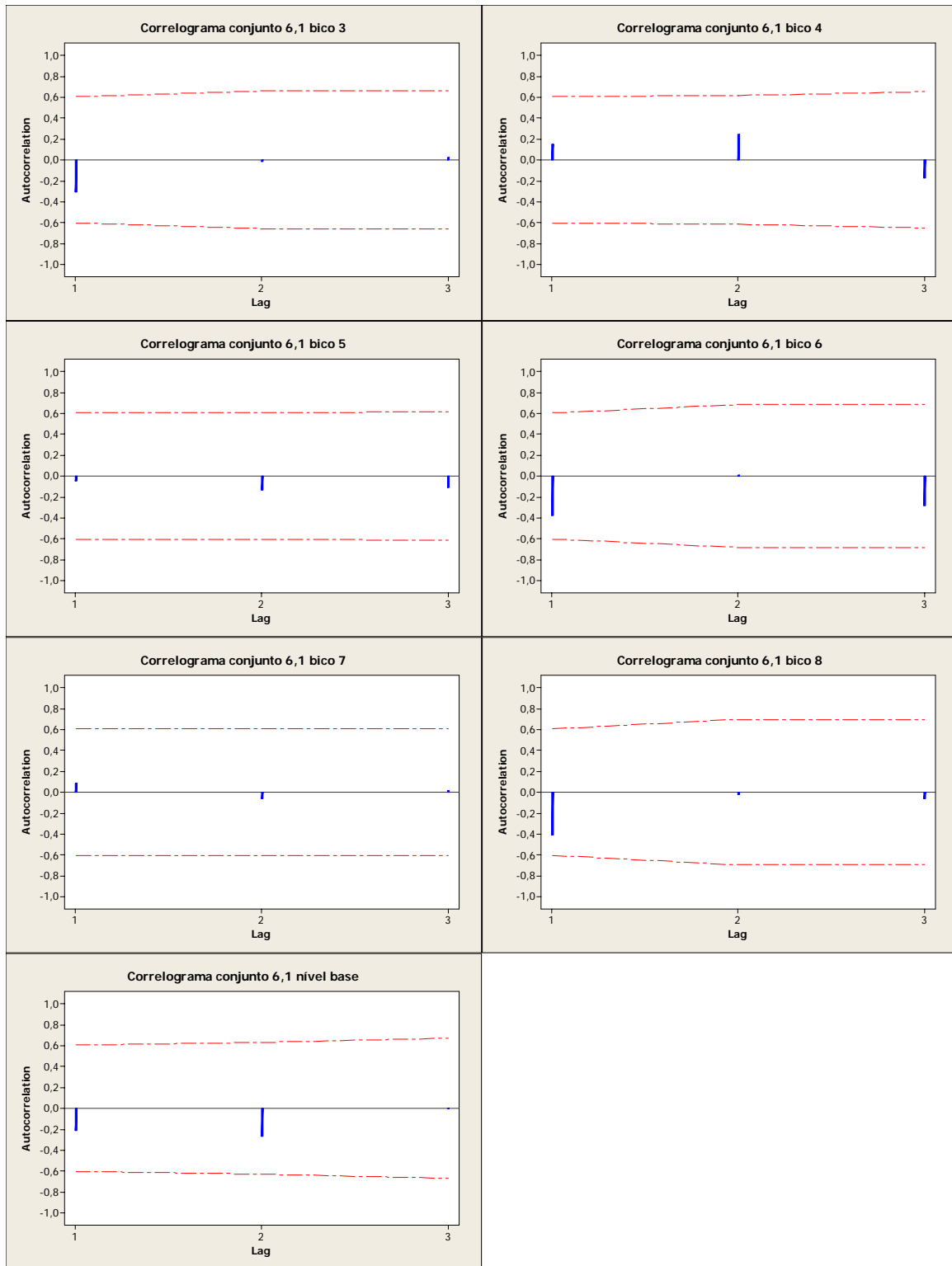


Figura 45 – Continuação

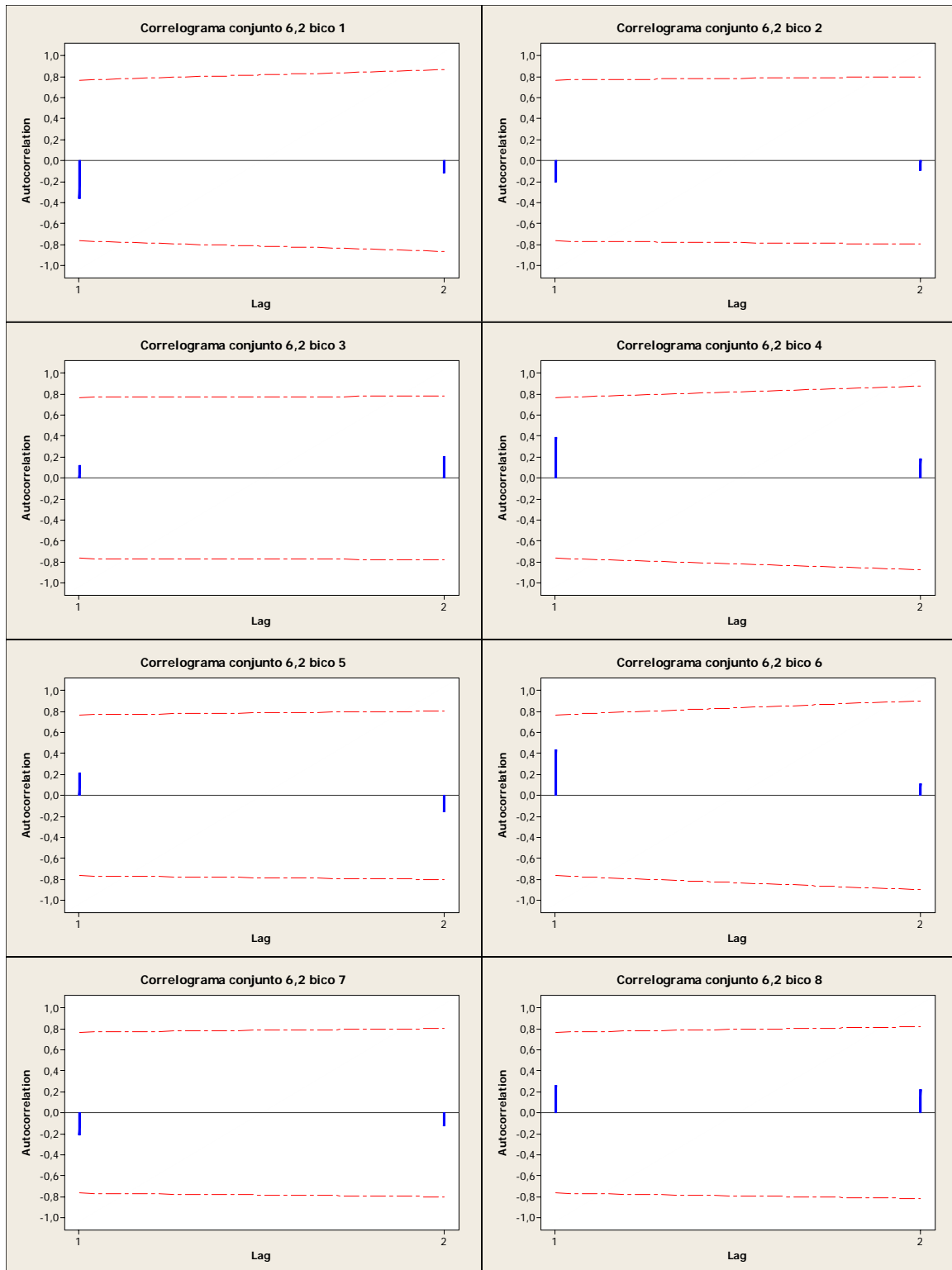


Figura 46 – Correlogramas de todos os bicos e nível-base para o conjuntos 6.2 de amostras

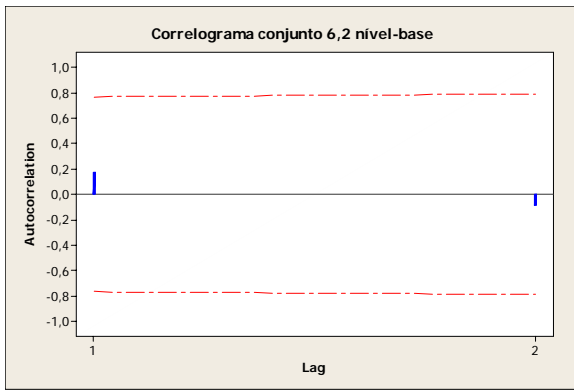


Figura 46 – Continuação

Finaliza-se aqui a análise exploratória do processo. Conforme dito, o capítulo seguinte apresentará uma proposta de esquema de CEP para o mesmo.