



INSTITUTO DO EMPREGO E FORMAÇÃO PROFISSIONAL
CENTRO DE EMPREGO E FORMAÇÃO PROFISSIONAL DE ÉVORA

UFCD: Controlo estatístico do processo
Formador: Rui Dias

09-06-2020

Estudo da Capabilidade

- Processo de produção de pão

Realizado por: Rui Nunes



Índice

INTRODUÇÃO	2
Objetivos	2
Enquadramento	2
Conceitos teóricos	2
Controlo estatístico de processos.....	2
Cartas de controlo	5
CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM	8
Valores de especificação.....	8
RESULTADOS.....	8
Cartas de controlo	8
ANÁLISE E CONCLUSÕES.....	11
ANEXO I.....	12

INTRODUÇÃO

Objetivos

Este trabalho tem como objetivo apresentar o estudo completo da capacidade de dois processos de produção de pão (pão integral grande e baguete de cereais), relativamente ao requisito que define o valor da massa de cada um dos pães.

Enquadramento

A qualidade é, hoje em dia, algo incontornável em qualquer sector industrial ou até mesmo de serviços, onde o principal objetivo é a excelência a todos os níveis, desde a produção até a satisfação do cliente. A crescente importância e a evolução observada nestas últimas décadas são a confirmação desse mesmo fato. Vários conceitos foram surgindo como resposta a uma crescente exigência na competitividade, dos clientes e claro, na produção. Conceitos esses como controlo estatístico do processo, zero defeitos, melhoria contínua ou ainda, qualidade total.

A par destas novas ideias, e de modo a concretizá-las na prática, foram sendo adotadas várias ferramentas. Da grande panóplia de ferramentas existentes hoje em dia, existem sete denominadas por ferramentas clássicas da qualidade, são elas:

1. Folhas e registo;
2. Diagramas de Pareto;
3. Diagramas causa-efeito;
4. Histogramas;
5. Gráficos de dispersão;
6. Fluxogramas;
7. Cartas de controlo.

De todas estas, devido à incidência do trabalho ser maioritariamente sobre as cartas de controlo que se encontram englobadas no estudo de controlo estatístico do processo, serão os conceitos desenvolvidos de seguida.

Conceitos teóricos

Controlo estatístico de processos

O controlo estatístico de processos surgiu na década 20 do século passado, através do trabalho de Walter A. Shewart, quando começou a aplicar um conjunto de métodos estatísticos na monitorização e aperfeiçoamento contínuo dos processos industriais.

É sabido que todos os processos industriais apresentam uma determinada variabilidade, alias, as tolerâncias associadas aos processos são exatamente o reconhecimento dessa mesma característica. O controlo estatístico de processos é a resposta à variabilidade já que o principal

objetivo é a compreensão da mesma, que surge associada a um requisito/especificação da qualidade. Esta pode ter duas causas:

1. Causas comuns - Walter A. Shewhart chegou a conclusão que há que aceitar certas causas aleatórias. Estas causas comuns juntas causam um padrão de dispersão que descreve o resultado do processo:

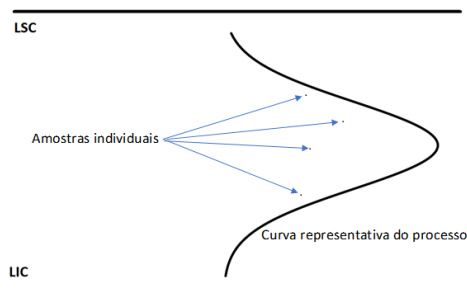


Figura 1 - Padrão de dispersão de um processo controlado.

Mais Importante, Shewhart, percebeu o perigo de reagir e atuar tendo por base leituras individuais destas causas comuns. Amostras individuais não permitem uma leitura de como se comporta o processo e, portanto, leva a conclusões imprudentes. Esta leitura dúbia, pode levar a dois cenários que seriam de evitar: um primeiro, onde é recolhida uma leitura perto do limite superior de controlo (1) e então, a tendência natural é ajustar o processo de maneira a centrá-lo (2) e o que acontece, é que se passa a obter, ocasionalmente, algumas amostras fora dos limites (3).

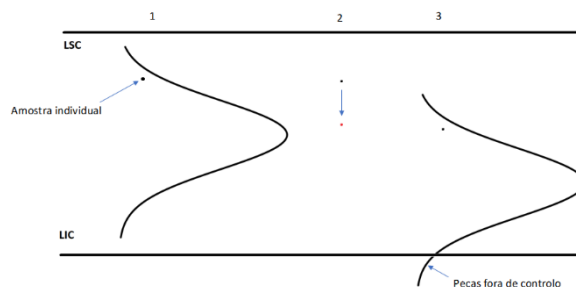


Figura 2 - Reação a uma só amostra perto do limite superior.

No segundo caso, obtém-se uma medida muito perto do centro e apesar de aparentemente, estar tudo correto e por isso, não são necessários qualquer tipo de ajuste. No entanto, o processo pode estar longe de estar controlado.

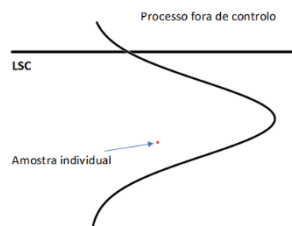


Figura 3 - Inação a uma amostra perto do centro, apesar do processo não controlado.

2. Causas especiais – São causas associadas a problemas específicos, na maioria dos casos facilmente identificáveis e resolvidos. Em termos práticos, podem ser identificados pela descentralização e/ou um, aumento da amplitude.

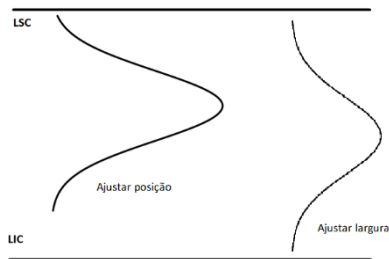


Figura 4 - Casos onde é necessário atuar devido a causas especiais.

Relativamente às origens das causas, estas podem advir de várias fontes, tais como:

- Equipamento;
- Matéria-prima;
- Mão-de-obra;
- Meio ambiente;
- Métodos;
- Metrologia.

As cartas de controlo consistem nas ferramentas suporte do controlo estatístico e são usadas para distinguir entre os dois tipos de variação, de forma a prevenir a ocorrência de produto não conforme e identificar o momento em que se deve atuar sobre o processo. A pretensão é obter um processo sob controlo estatístico, isto é, a distribuição de probabilidade representada pela característica em análise é constante no tempo e as únicas causas de variação são comuns.

Muito naturalmente, a consequência lógica da implementação de um controlo estatístico de controlo é o estudo de capacidade do processo, ou seja, a avaliação se este é capaz de cumprir com as especificações.

Existem dois índices de capacidade que vão ser calculados neste trabalho, o C_p e o C_{pk} . Estes são calculados de forma idêntica, mas, no entanto, o C_{pk} é mais indicado para quando a média do processo não coincide com o valor da especificação, conforme se pode observar pelas fórmulas:

$$C_p = \frac{(LSE - LIE)}{6\hat{\sigma}}$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{(LSE - \mu)}{3\hat{\sigma}}; \frac{(\mu - LIE)}{3\hat{\sigma}}\right)$$

LSE – limite superior de especificação;

LIE – Limite inferior de especificação;

$\hat{\sigma}$ – Desvio padrão estimado, calculado da seguinte forma:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Para finalizar, falta somente referir o valor mínimo para qual se pode considerar um processo, como aqueles que vão ser objeto de estudo neste trabalho, capaz, que é 1,33. Ou seja, se os índices de capacidade forem inferiores a 1,33 não são considerados capazes.

Cartas de controle

As primeiras cartas de controle nasceram, uma vez mais, pela mão de Walter A. Shewhart, como parte do seu trabalho no controle estatístico do processo. São gráficos que mostram a evolução de uma determinada característica, tendo, portanto, como objetivos:

- Evidenciar se o processo se encontra sob controle estatístico;
- Assinalar a presença de causas especiais de variação;
- Orientar a introdução de melhorias no funcionamento do processo.

Basicamente, são apenas gráficos de tendências com limites de variação, calculados estatisticamente.

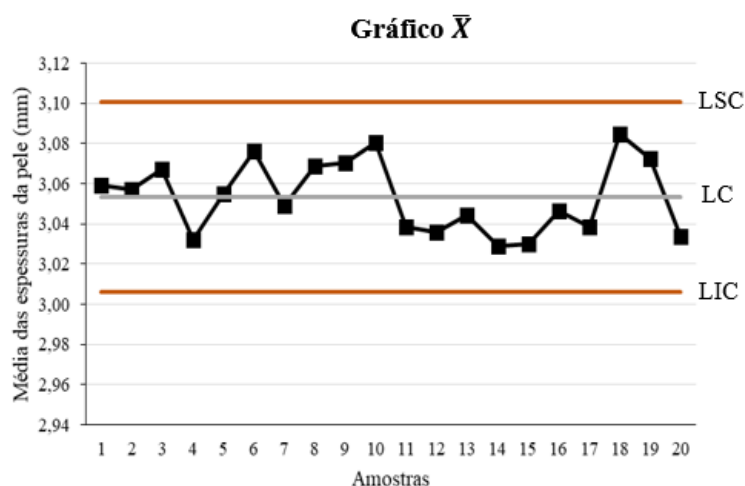


Figura 5 - Exemplo de uma carta de controle

Conforme a característica em estudo é uma variável ou um atributo, existem vários tipos de carta como se pode observar na tabela abaixo:

Característica	Tipo de carta
Variável	$\bar{X}-R \rightarrow$ Média e Amplitude
	$X-R \rightarrow$ Mediana e Amplitude
	$\bar{X}_m-R_m \rightarrow$ Média móvel e Amplitude móvel
	$xi-R_m \rightarrow$ Valores individuais e Amplitude móvel
Atributo	$np \rightarrow$ número de unidades defeituosas
	$p \rightarrow$ percentagem de unidades defeituosas
	$c \rightarrow$ número de defeitos
	$u \rightarrow$ número de defeitos por unidade

Tabela 1 - tabela das várias cartas existentes conforme a característica em estudo.

Entenda-se característica variável, aquela que tem uma variação contínua, tal como, o comprimento, volume ou a massa, entre muitas outras. Já a característica atributo é aquela que possui somente valores discretos.

Este trabalho só irá utilizar as primeiras cartas de controlo da tabela, ou seja, $\bar{X}-R$ (média e amplitude), pelo que só se apresentarão as fórmulas para obter esse tipo de carta.

E para construir as cartas de controlo relativo as médias e amplitudes, para além de se calcular as médias e amplitudes dos vários grupos de amostragem é também necessário calcular os limites de controlo superior e inferior. E para isso temos as seguintes fórmulas:

	Médias	Amplitudes
Limite superior de controlo (LSC)	$\bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R}$	$D_4 * \bar{R}$
Limite inferior de controlo (LIC)	$\bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R}$	$D_3 * \bar{R}$

Tabela 2 - Tabela com as fórmulas de cálculo dos limites superiores e inferior de uma carta de controlo das médias e amplitude.

\bar{R} – Média das amplitudes

A_2, D_3 e D_4 – Constantes estatísticas (ver anexo I)

Por fim, falta apenas referir os casos que segundo a norma, indicam que um determinado processo se encontra fora do controlo estatístico. E são eles:

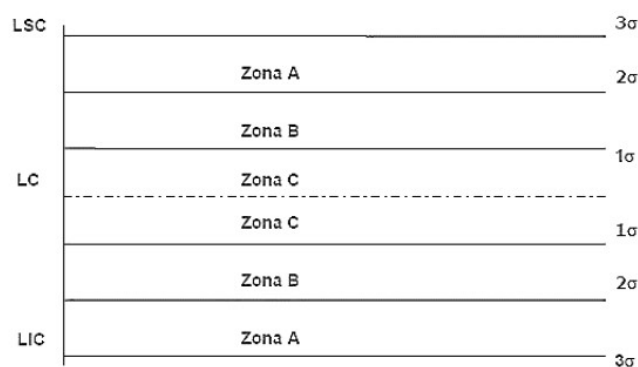


Figura 6 - Divisão da carta de controlo por zonas

- **Regra 1** Um ponto qualquer fora dos limites de controlo

- **Regra 2** Nove pontos consecutivos de um mesmo lado da linha central
- **Regra 3** Seis pontos consecutivos em sentido ascendente ou descendente
- **Regra 4** Catorze pontos crescendo e decrescendo alternadamente
- **Regra 5** Dois de três pontos consecutivos na zona A, do mesmo lado da linha central
- **Regra 6** Quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou A, do mesmo lado da linha central
- **Regra 7** Quinze pontos consecutivos na zona C
- **Regra 8** Oito pontos de ambos os lados da linha central, sem nenhum na zona C

CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM

Este relatório é relativo somente ao pão integral grande e a baguete de cereais, como já foi referido anteriormente. Os dados são relativos a 5 dias de produção, onde a recolha das amostras obedeceu aos seguintes critérios:

- A recolha é efetuada em todas as fornadas;
- O número de amostras recolhidas corresponde a 20% do total da fornada, que se traduz em 10 pães integrais grande e 5 baguetes de cereais;
- As amostras são colhidas de sítios já pré-definidos do tabuleiro, que correspondem a diferentes pontos no forno;

Os dados em bruto poderão ser consultados no ficheiro Excel que acompanha este relatório.

Valores de especificação

Para ambos os tipos de pão, os valores alvo, assim como para os limites superior e inferior de especificação são os seguintes:

	Pão integral grande	Baguete de cereais
Valor alvo	125	100
LSE	150	110
LIE	100	90

Tabela 3 - valores da especificação para ambos os processos.

RESULTADOS

Cartas de controlo

Todos os cálculos relativos as cartas de controlo, assim como, para o cálculo da capacidade, encontram-se no ficheiro Excel que acompanha este relatório.

➤ Pão integral grande

Para o pão integral grande foram obtidas as seguintes cartas de controlo:

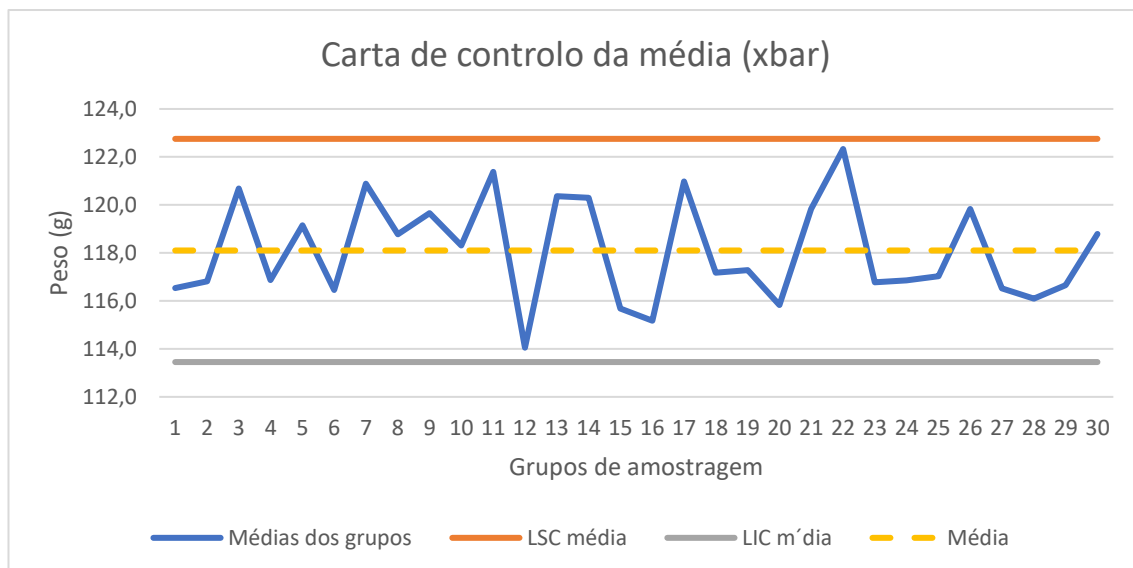


Figura 7 - carta de controlo das médias - processo pão integral grande.

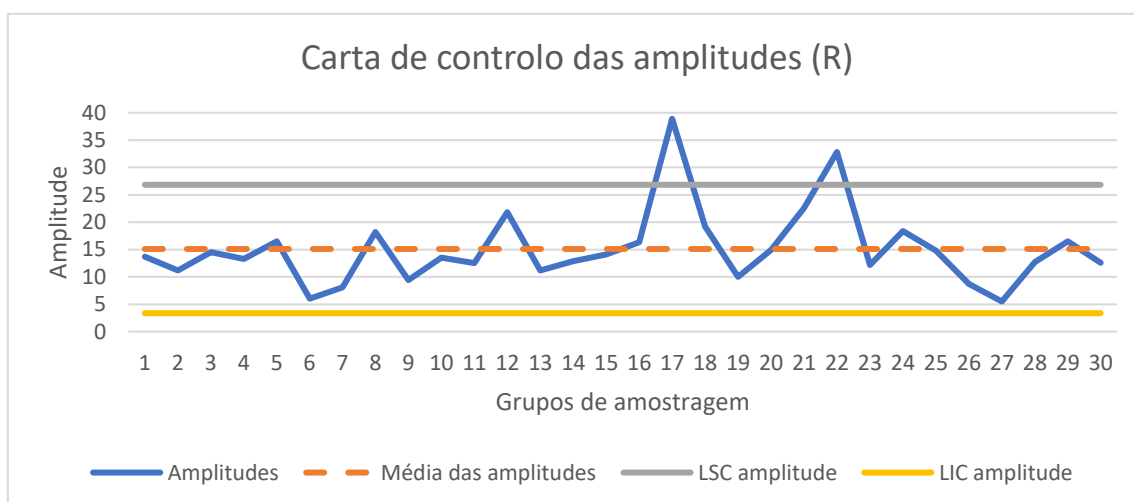


Figura 8 - carta de controlo das amplitudes - processo pão integral grande.

Já os valores para os índices de capacidade foram os seguintes:

Índices de capacidade	Valor
C_p	1.70
C_{pk}	1.23

Tabela 4 - índices de capacidade - processo pão integral grande.

➤ **Baguete de cereais**

Para a baguete de cereais foram obtidas as seguintes cartas de controlo:

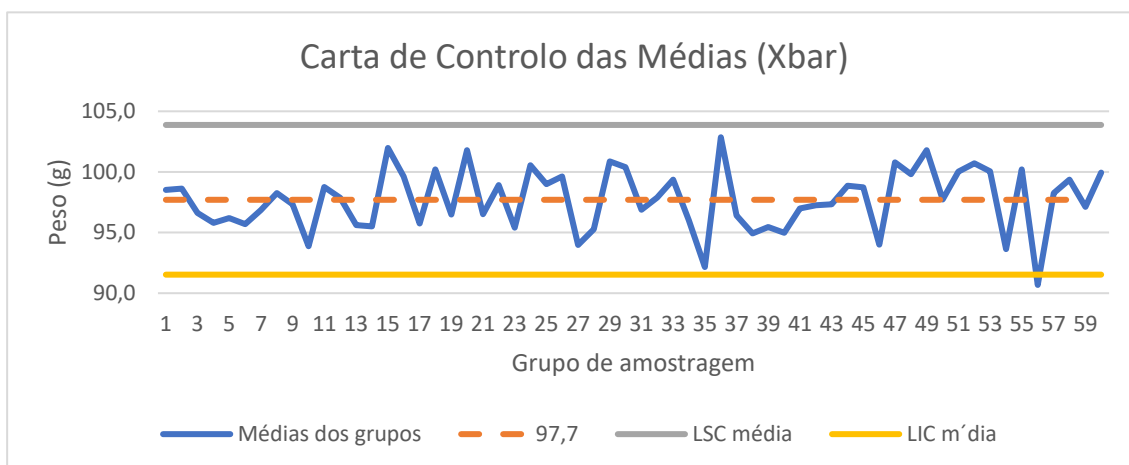


Figura 9 - carta de controlo das médias - processo baguete de cereais.

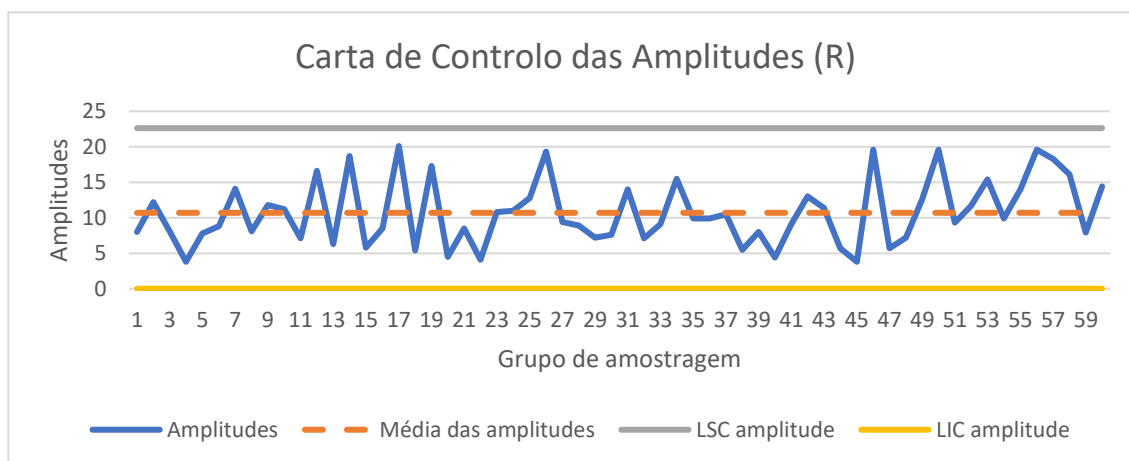


Figura 10 - carta de controlo das amplitudes - processo baguete de cereais.

Os valores para os índices de capacidade foram os seguintes:

Índices de capacidade	Valor
C_p	0.72
C_{pk}	0.56

Tabela 5- - índices de capacidade - processo baguete de cereais.

ANÁLISE E CONCLUSÕES

Ao observar todos os resultados obtidos podem-se retirar as seguintes conclusões:

- Para o pão integral grande:
 - **Processo não controlado** – conforme se pode observar na carta das médias respetiva, esta apresenta grandes oscilações nos valores das médias dos subgrupos, aproximando-se em demasia dos limites de controlo quer superior, quer inferior. Por si só já era um sinal da possível falta de controlo do processo. Quando analisamos a carta das amplitudes confirmamos a forte suspeita anterior, apresentando esta dois pontos acima do limite superior de controlo (quebrou a regra 1, exposta na introdução deste documento). Tudo isto é indicador que o processo é influenciado por causas especiais, cujas origens têm de ser determinadas para poderem ser corrigidas.
 - **Média das médias abaixo do valor alvo** – Este facto é facilmente constatado, uma vez que o valor da média das médias é 118,1 e o valor alvo é 125. Também esta circunstância é indicadora que o processo deve ser alvo de uma ação corretiva, de modo, a eliminar a causa raiz da causa especial que dá origem a este desvio.
 - **Processo não capaz** - aqui o cálculo dos índices de capacidade foi só um mero exercício académico, uma vez, que assim que o processo é classificado como não controlado, já não faz qualquer sentido calcular um parâmetro indicador do quanto o processo é capaz de produzir segundo as especificações. No entanto, fica evidente a razão de termos um índice que têm em conta o fato de quando a média de um processo não coincide com o valor alvo da especificação (C_{pk}), já que, como se pode observar comparando os dois valores dos dois índices, o C_{pk} apresenta um valor mais credível, ou seja, abaixo dos 1,33, acabando por classificar o processo como não capaz (o que faz sentido visto o processo já não ser controlado).
- Para a baguete de cereais:
 - **Processo não controlado** – a explicação é em tudo semelhante ao do processo anterior, com a diferença de que aqui as oscilações de grande amplitude, se verificam em ambas as cartas e neste caso, é na carta das médias que se verifica um valor fora do limite de controlo inferior. Também as ações de melhoria são as mesmas que as do processo anterior;
 - **Média das médias abaixo do valor alvo** – também aqui, tudo o que foi dito neste mesmo ponto do processo anterior se aplica aqui. As diferenças são o valor da média das médias e o valor alvo que são, 97,7 e 100, respetivamente.
 - **Processo não capaz** – mais uma vez, os índices de capacidade foram calculados somente por curiosidade académica. Neste caso já foram obtidos valores mais próximos, o que seria de esperar uma vez que a média das médias já se encontra mais próxima do valor alvo. No entanto, o valor que devemos ter mais em conta é o do C_{pk} , o qual, uma vez mais, está abaixo de 1,33 e por isso a classificação do processo em não capaz.

ANEXO I

Neste anexo encontram-se os quadros onde se podem encontrar todos as contantes utilizadas neste relatório.

Número de Elementos	Factores para Limites de Controlo		
	A_1	A_2	A_3
2	2,121	1,880	2,659
3	1,732	1,023	1,954
4	1,5	0,729	1,628
5	1,342	0,577	1,427
6	1,225	0,483	1,287
7	1,134	0,419	1,182
8	1,061	0,373	1,099
9	1	0,337	1,032
10	0,949	0,308	0,975
11	0,905	0,285	0,927
12	0,866	0,266	0,886
13	0,832	0,249	0,850
14	0,802	0,235	0,817
15	0,775	0,223	0,789

Número de Elementos	Factores para Linha Central		Factores para Limites de Controlo			
	c_4	$1/c_4$	B_3	B_4	B_5	B_6
2	0,7979	1,2533	0	3,267	0	2,606
3	0,8862	1,1284	0	2,568	0	2,276
4	0,9213	1,0854	0	2,266	0	2,088
5	0,9400	1,0638	0	2,089	0	1,964
6	0,9515	1,0510	0,030	1,970	0,029	1,874
7	0,9594	1,0423	0,118	1,882	0,113	1,806
8	0,9650	1,0363	0,185	1,815	0,179	1,751
9	0,9693	1,0317	0,239	1,761	0,232	1,707
10	0,9727	1,0281	0,284	1,716	0,276	1,669
11	0,9754	1,0252	0,321	1,679	0,313	1,637
12	0,9776	1,0229	0,354	1,646	0,346	1,610
13	0,9794	1,0210	0,382	1,618	0,374	1,585
14	0,9810	1,0194	0,406	1,594	0,399	1,563
15	0,9823	1,0180	0,428	1,572	0,421	1,544

Número de Elementos	Factores para Linha Central			Factores para Limites de Controlo			
	d_2	$1/d_2$	d_3	D_1	D_2	D_3	D_4
2	1,128	0,8865	0,853	0	3,686	0	3,267
3	1,693	0,5907	0,888	0	4,358	0	2,574
4	2,059	0,4857	0,880	0	4,698	0	2,282
5	2,326	0,4299	0,864	0	4,918	0	2,114
6	2,534	0,3946	0,848	0	5,078	0	2,004
7	2,704	0,3698	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924
8	2,847	0,3512	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864
9	2,970	0,3367	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816
10	3,078	0,3249	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777
11	3,173	0,3152	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744
12	3,258	0,3069	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717
13	3,336	0,2998	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693
14	3,407	0,2935	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672
15	3,472	0,2880	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653