

APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO EM UMA INDÚSTRIA DE ARTEFATOS DE MADEIRA

USE OF STATISTICAL PROCESS CONTROL IN A WOOD ARTIFACTS INDUSTRY

Douglas Ferreira Antunes¹ Sergio Augusto Rodrigues² Ricardo Ghantous Cervi³
Bernadete Rossi Barbosa Fantin⁴ Paulo André de Oliveira⁴

RESUMO

As chapas de madeiras possuem múltiplas aplicações, dentre as quais se destacam os usos mobiliários, divisórios e, de forma secundária, na construção civil. Nos processos de produção como os de chapas de madeira existe um rigoroso controle de qualidade dos parâmetros estabelecidos pelos clientes. Neste sentido, avaliar se o processo de produção mantém a qualidade desejada impacta diretamente nos resultados das empresas. O objetivo desse trabalho foi avaliar os parâmetros de qualidade por meio da ferramenta de controle estatístico da qualidade que possibilitou identificar o percentual de peças defeituosas de uma indústria de chapas de madeira do interior do estado de São Paulo. Neste artigo foram utilizados dados da produção de chapas de madeira de uma indústria madeireira no interior do estado de São Paulo com observações de controle de processo relativo aos parâmetros de comprimento, esquadro e espessura. Para avaliar o processo produtivo utilizou-se de ferramentas Estatísticas da Qualidade como gráficos de controle e o uso estatísticas descritivas. Os parâmetros de espessura, comprimento e esquadro exigidos foram atendidos em mais de 96% dos produtos, contudo os valores fora das especificações foram considerados defeitos e em não conformidade ao padrão de qualidade, acarretando perdas como produtos de segunda linha para a empresa.

Palavras-chave: Cartas de controle. Capacidade do processo. Estabilidade do processo.

ABSTRACT

Wooden boards have multiple applications, among which furniture, partitions and, secondarily, in civil construction. Production processes of such boards have strict quality control of the parameters established by the customers. In this sense, assessing the production process maintains the desired quality having a direct impact on business results. This paper aimed at evaluating quality parameters through a statistical quality control tool. It was possible to identify the percentage of defective parts in a wood veneer industry in the interior of São Paulo state, considering data from the production control on parameters of length, square and thickness. Evaluating the production process, Quality Statistics tools were used, such as control charts and the use of descriptive statistics. Required thickness, length and square parameters were met in more than 96% of the products. However, values off-specifications were considered defects and in no-compliance to quality standards, resulting in losses as second-line products for the company.

Key words: Control charts. Process stability. Process capability.

¹ Tecnólogo em Logística, FATEC Botucatu. Av. José Ítalo Bacchi, s/n - Jardim Aeroporto, Botucatu - SP, 18606-851. e-mail:douglasferreiraantunes@gmail.com

² Professor Assistente Doutor, UNESP – Botucatu

³ Professor Assistente Doutor, UNESP - Itapeva

⁴ Professor de Ensino Superior do Centro Paula Souza, FATEC Botucatu

1 INTRODUÇÃO

Com a grande diversidade e quantidade de florestas naturais tropicais no Brasil, o surgimento de indústrias madeireiras é cada vez mais intenso. Porém, pela inadequada exploração e utilização não-racional dessas florestas, associada ao aumento da demanda de produtos madeireiros, torna-se interessante o uso de novas formas de aproveitamento de resíduos de madeira, oriundas do sistema industrial de fabricação de celulose, papel e de serrarias (PEDRAZZI *et al.*, 2006). Entre os produtos da indústria madeireira, destacam-se as chapas de aglomerados que possuem múltiplas aplicações, dentre as quais se destacam os usos mobiliários e divisórios e, de forma secundária na construção civil (IWAKIRI *et al.*, 2012).

Um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente às especificações, atingindo o valor alvo com a menor variabilidade possível em torno dele. Essas características podem ser de diversos tipos: físicas, comprimento, sensórias, como gosto, aparência e cor; ou de orientação temporal, como confiabilidade, manutenção, utilidade e durabilidade (SILVA, *et al.* 2014). Dessa forma, ferramentas estatísticas tradicionalmente ligadas à melhoria da qualidade dos produtos poderiam também ser utilizadas em projeto com o objetivo de redução de perdas de produção uma vez que a redução destas perdas tem forte impacto sobre a produtividade do processo (OLIVEIRA; FERREIRA, 2005).

O Controle Estatístico do Processo (CEP) é uma técnica estatística aplicada à produção que permite redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade de interesse, contribuindo para melhoria da qualidade, da produtividade, da confiabilidade e do custo do que está sendo produzindo, pois é um sistema de inspeção por amostragem, operando ao longo do processo, com o objetivo de verificar a presença de causas especiais, ou seja, causas que não são normais ao processo e que podem prejudicar qualidade do produto manufaturado (SILVA, *et al.*, 2014).

Uma vez identificados as causas especiais, podemos atuar sobre elas, melhorando continuamente os processos de produção e, por conseguinte, a qualidade do produto final. O CEP pode ser descrito como um conjunto de ferramentas de monitoramento da qualidade. Com essas ferramentas, consegue-se uma descrição detalhada do comportamento do processo, identificando sua variabilidade e possibilitando seu controle ao longo do tempo, através da coleta continuada de dados, análise, identificação e bloqueio de possíveis causas especiais, responsáveis pelas instabilidades do processo em estudo (GOMES; MARINHO, 2019).

A ideia principal do CEP é melhorar os processos de produção com a menor variabilidade possível, proporcionando níveis satisfatórios de qualidade nos resultados da

produção. É muito comum nas fábricas que processos industriais não sejam otimizados, portanto não terem altos níveis de eficiência, no entanto, dentro do CEP existem ferramentas para monitorar o processo e, portanto, melhorá-lo. Várias ferramentas podem ser utilizadas no CEP como uma alternativa para aumentar o nível de qualidade de seus indicadores, sendo a carta de controle ou gráfico de controle uma das principais (PALADINI, 2019).

A finalidade das cartas de controle, de maneira geral, é detectar as possíveis variações externas ao processo; forçar o gerenciamento da operação com a criação de um plano de melhorias; inferir na capacidade e nos limites estabelecidos para o processo; redefinir, se necessário, os padrões de qualidade de determinados itens de produção; avaliar se as melhorias surtiram efeitos nos produtos e/ou serviços; e manter a qualidade da operação, caso a mesma satisfaça os padrões de qualidade exigidos, sempre levando em consideração até que ponto a melhoria contínua do processo não afeta os custos de produção (VOLTARELLI *et al.*, 2017).

Nos processos de produção de chapas de madeira, existe um rigoroso controle de qualidade dos parâmetros estabelecidos pelos clientes. Neste sentido, avaliar se o processo de produção mantém a qualidade desejada impacta diretamente nos resultados das empresas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros de qualidade por meio da ferramenta de controle estatístico da qualidade que possibilitou identificar o percentual de peças defeituosas de uma indústria de chapas de madeira do interior do estado de São Paulo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para este trabalho foram coletados dados da produção de chapas de madeira de uma indústria madeireira no interior do estado de São Paulo. O processo contínuo foi avaliado no período entre setembro a outubro de 2020. O levantamento amostral foi semanal durante oito horas por dia em quatro dias da semana com 95% da produção do período. No Quadro 1 apresenta-se os produtos avaliados, que diferem pela espessura, mantendo as demais características idênticas:

Quadro 1- Descrição dos produtos e quantidade analisada no estudo.

Código do fabricante	Espessura (mm)	Dimensão (mm)	Quant. por amostra (u)	Quant. de amostras (u)
PS315	3,00	7400 x 1265	2736	11
PS329	4,30	7400 x 1265	1616	19
PS629	4,50	7400 x 1265	1616	19

Fonte: Os autores com dados da pesquisa

O controle de qualidade deste processo foi avaliado pelo controle do número de defeitos por unidade conforme descreveu Moreira (2011) com observações de controle de processo relativo aos parâmetros de comprimento, esquadro e espessura. Os parâmetros determinados pela empresa indicam que os produtos devem ter as seguintes especificações: espessura uma tolerância de \pm um (1) décimo de mm, comprimento \pm 10 mm e o esquadro tolerância na diagonal de \pm 10mm de diferença entre as diagonais, onde esses parâmetros são especificações da empresa em questão. Valores fora das especificações são considerados defeitos e em não conformidade ao padrão de qualidade, sendo estes produtos separados como segunda linha e destinados a mercados de menor valor agregado.

- Para cada parâmetro, o número de defeitos foi dividido para produção total do dia e multiplicado por 100. Desta forma, se obteve percentual de defeitos por dia.
- Calculou-se a média e o desvio padrão para todas as amostras (dias).
- Para o período de análise estabelece-se três limites para cada parâmetro:

LSC - limite superior de controle corresponde à média de defeitos mais 3 desvios padrão

LM - limite médio de controle corresponde a quantidade média de defeitos.

LIC - limite inferior de controle corresponde à média de defeitos do menos 3 desvios padrão.

Quando este limite apresentou negativos se considerou zero.

Para elaborar os gráficos de controle para a proporção de itens não conformes em amostra de tamanho variável utilizou-se as seguintes fórmulas descritas por Moreira (2011):

$$\bar{p} = \frac{\sum di}{\sum n_i}, \text{ com } i = 1, \dots, m \quad (1)$$

$$\text{LSC} = \bar{p} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{n_i}} \quad (2)$$

$$\text{LIC} = \bar{p} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{n_i}} \quad (3)$$

Sendo \bar{p} média das proporções de itens não conformes nas m amostras; d_i o número de defeitos da amostra, n_i a quantidade de chapas analisadas na amostra.

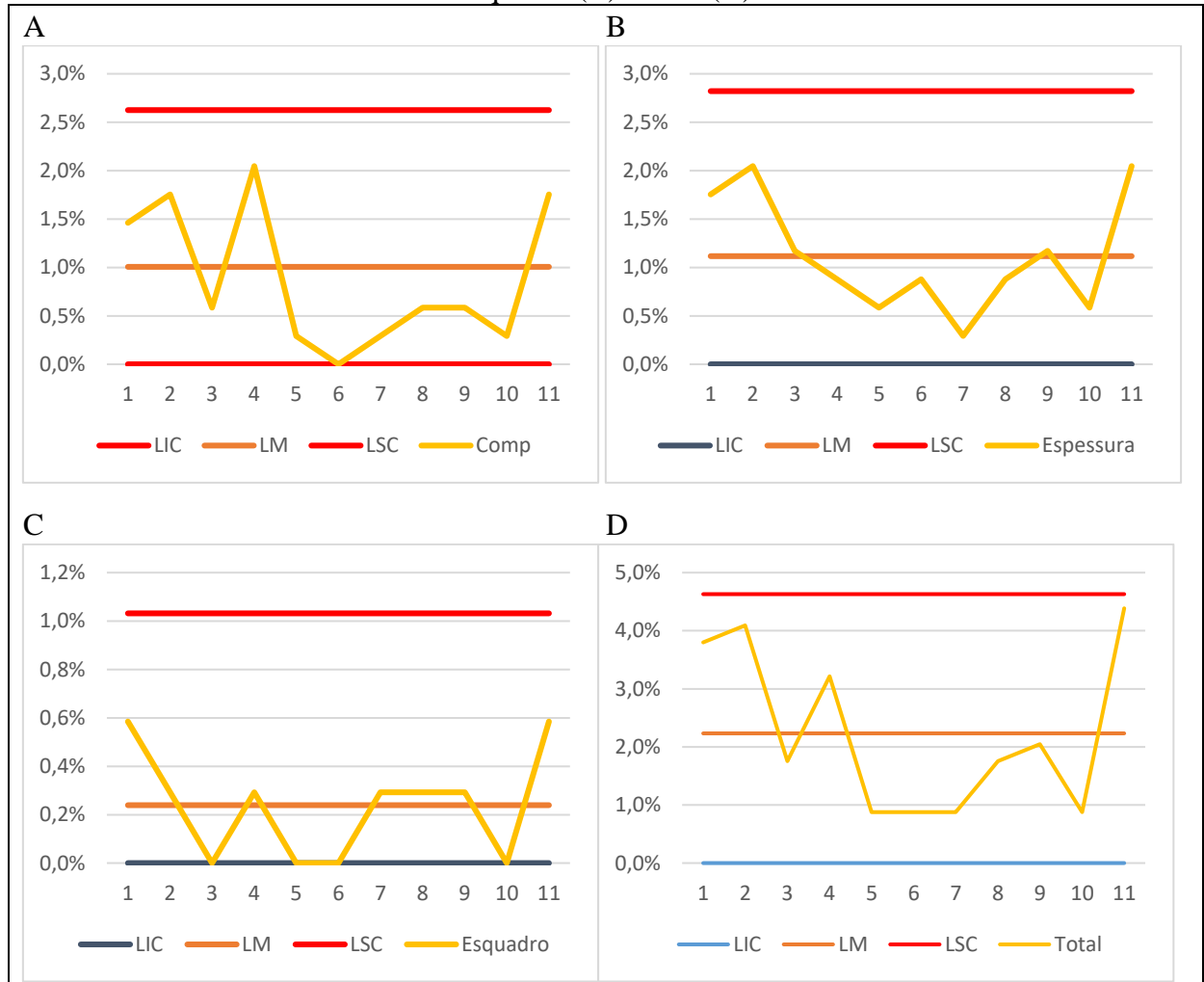
Os resultados foram apresentados em cartas de controle: efetuando-se medições de variáveis de interesse em pontos espaçados no tempo e registrando os resultados a estabilidade do processo com a análise dos gráficos de controle permite que se determine se um dado processo é estável, ou seja, se não há presença de causas especiais de variação atuando sobre o mesmo e capacidade do processo que basicamente verificou a capacidade de atender às especificações, ou não. O gráfico de controle é normalmente utilizado para detectar causas especiais e causas comuns como as cartas de controle para a altura de corte na colheita mecanizada de cana-de-açúcar (VOLTARELLI *et al.*, 2017). A fim de complementar aos resultados, apresentou-se estatísticas descritivas e a correlação de Pearson entre os parâmetros para se perceber associações entre as variáveis.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 apresenta-se os gráficos de controle do produto PS315 nos três parâmetros de análise. Os gráficos permitem verificar a capacidade do processo, ou seja, qual a capacidade do processo de atender as exigências dos parâmetros estabelecidos pela qualidade (SLACK *et al.*, 2018).

A maior proporção de defeitos (LM) ocorreu na espessura, acima de 1% com maior índice de defeitos na amostra 2 e 11. Na sequência, o comprimento obteve média de defeitos de 1% com picos na amostra 2, 4 e 11. O esquadro foi o indicador com menor taxa de defeitos, pouco superior a 0,2% com altas na amostra 1 e 11. Pode-se verificar uma incidência de defeitos, nos três parâmetros, para a amostra 11 que causou um destaque no gráfico de controle total aproximando-o do limite superior (LSC). O somatório dos defeitos no gráfico total aumentou a média acima de 2%.

Figura 1- Gráficos de controle do PS315 com parâmetros de comprimento (A), espessura(B), esquadro (C) e total (D)



Fonte: Os autores com dados da pesquisa, 2022

Na Tabela 1, pode-se perceber na estatística descritiva (A) que a taxa média de defeitos ocorreu na espessura com 1,12% e o menor no esquadro (0,24%) no produto PS315. O coeficiente de variação demonstra que apesar do menor índice de defeitos do esquadro, este foi o mais instável com variabilidade de 53,44%, enquanto na espessura houve menor variabilidade (53,44%). As correlações (B) demonstrou fortes associações positivas entre comprimento com espessura e o esquadro (0,71 e 0,73) e a espessura com o esquadro (0,63).

Tabela 1 - Média, desvio padrão, coeficiente de variação em percentual a referente proporção de defeitos nas amostras analisadas (A) e correlações entre os parâmetros de comprimento, espessura e qualidade do produto PS315(B)

Descritivas(A)			
	Comprimento	Espessura	Esquadro
Média	0,88	1,12	0,24
Desvio padrão	0,73	0,60	0,22
Cx. Variação	83,00	53,44	91,76

Correlações(B)			
	Comprimento	Espessura	Esquadro
Comprimento	1,00	0,71	0,70
Espessura		1,00	0,63

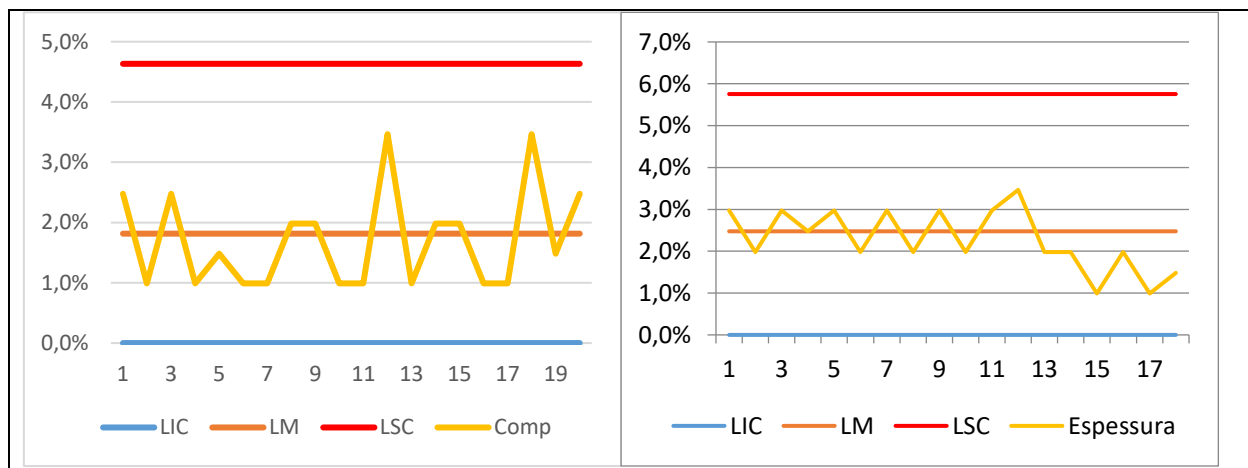
Fonte: Os autores com dados da pesquisa, 2022.

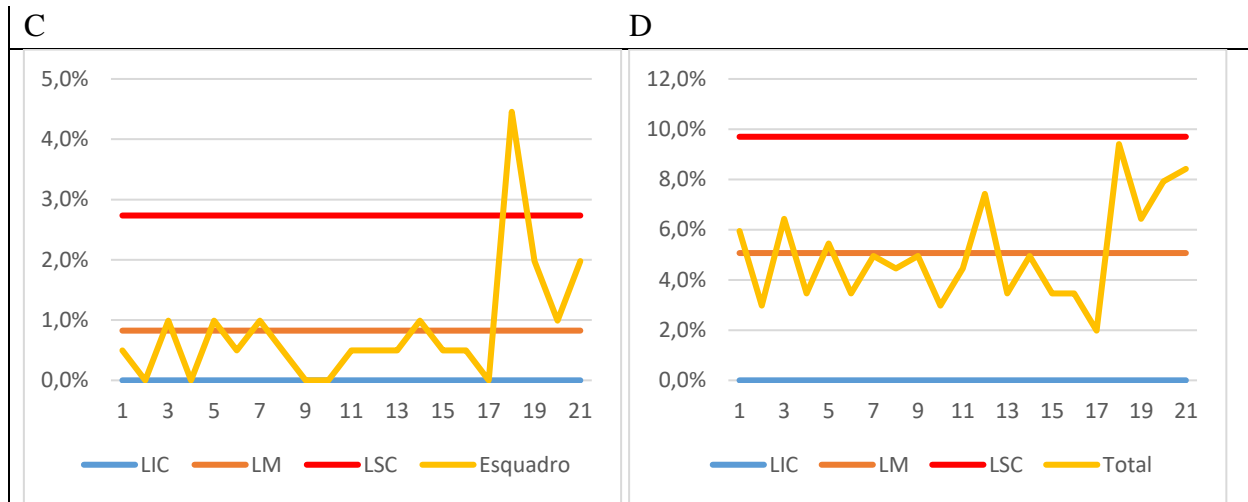
Na Figura 2 apresenta-se os gráficos de controle do produto PS329 nos três parâmetros de análise. A maior média de defeitos (LM) ocorreu na espessura, acima de 2% com maior índice de defeitos na amostra 11. Na sequência, o comprimento obteve média de defeitos de 2% com picos na amostra 11 e 17.

Figura 2- Gráficos de controle do PS329 com parâmetros de comprimento (A), espessura(B), esquadro (C) e total (D)

A

B





Fonte: Os autores com dados da pesquisa, 2022.

O esquadro foi o indicador com menor taxa de defeitos inferior a 1%, com alta na amostra 19. Pode-se verificar que os defeitos no parâmetro do esquadro, para a amostra 19, que causou um destaque no gráfico de controle total aproximando-o do limite superior (LSC). O somatório dos defeitos no gráfico total aumentou a média acima de 5,4%.

Na Tabela 2, pode-se perceber na estatística descritiva (A) que a maior taxa de defeitos ocorreu na espessura com 2,48 % e o menor no esquadro (0,83%) no produto PS329.

O coeficiente de variação demonstra que o maior índice de defeitos do esquadro, este foi o mais instável com variabilidade de 121,98%, enquanto na espessura houve menor variabilidade (34,64%).

Tabela 2 - Média, desvio padrão, coeficiente de variação em percentual a referente proporção de defeitos nas amostras analisadas (A) e correlações entre os parâmetros de comprimento, espessura e qualidade do produto PS329(B)

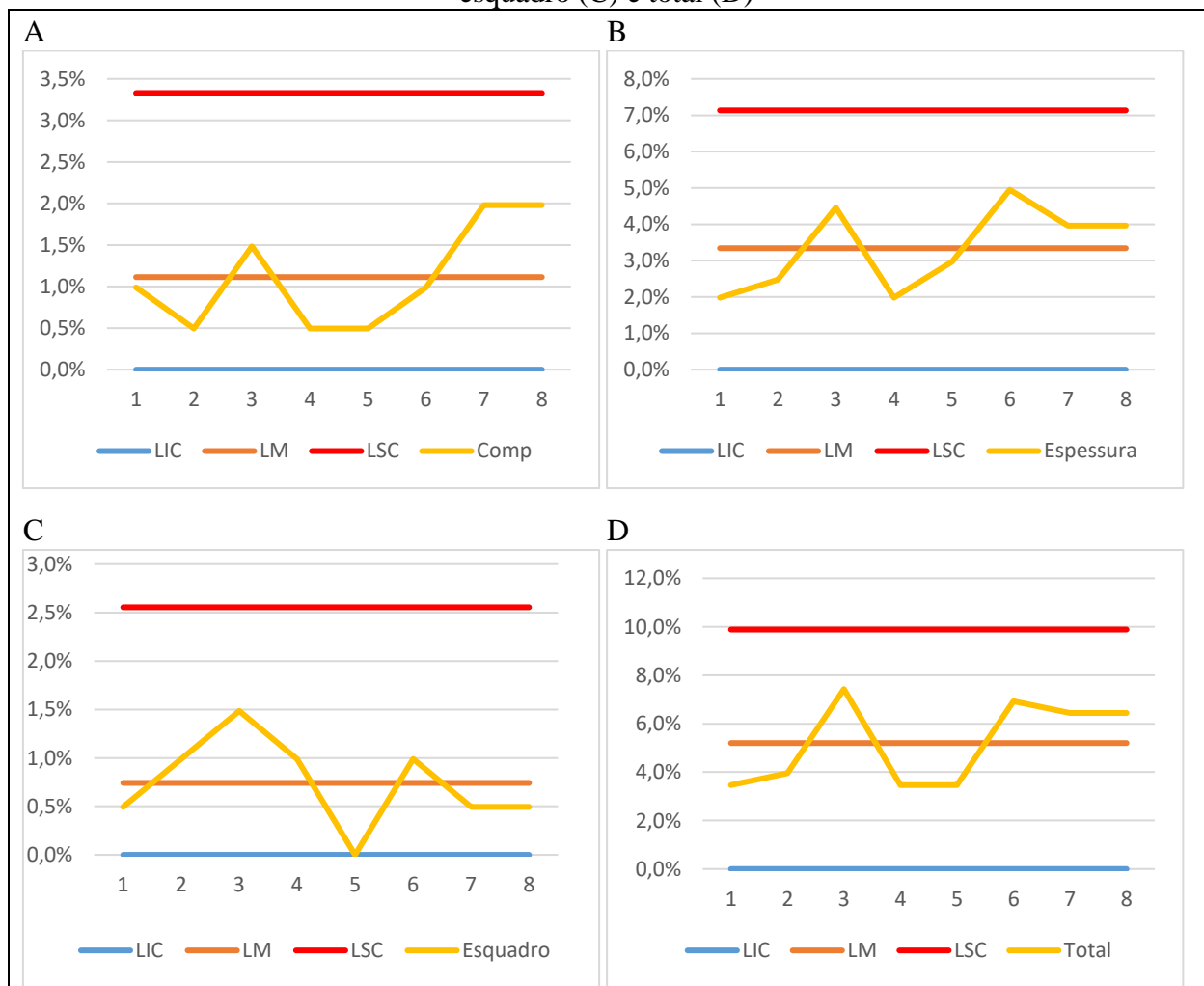
Descritivas (A)			
	Comprimento	Espessura	Esquadro
Média	1,77	2,48	0,83
Desvio padrão	0,85	0,86	1,01
Cx. Variação	48,15	34,64	121,98
Correlações(B)			
	Comprimento	Espessura	Esquadro
Comprimento	1,00	0,34	0,57
Espessura		1,00	0,04

Fonte: Os autores com dados da pesquisa, 2022.

As correlações (B) demonstrou fortes associações fracas entre comprimento com espessura e o esquadro (0,34 e 0,57 e a espessura com o esquadro (0,04).

Na Figura 3 apresenta-se os gráficos de controle do produto PS629 nos três parâmetros de análise. A maior média de defeitos (LM) ocorreu na espessura, acima de 3% com maior índice de defeitos na amostra 3 e 6. Na sequência, o comprimento obteve média de defeitos de 1% com picos na amostra 3 e 7. O esquadro foi o indicador com taxa de defeitos, superior a 0,5% com altas na amostra 3 e 6. Pode-se verificar uma incidência de defeitos, nos três parâmetros, para a amostra 3 e 6 que causou um destaque no gráfico de controle total do limite superior (LSC). O somatório dos defeitos no gráfico total aumentou a média acima de 5 %.

Figura 3- Gráficos de controle do c com parâmetros de comprimento (A), espessura(B), esquadro (C) e total (D)



Fonte: Os autores com dados da pesquisa, 2022.

Na Tabela 3, pode-se perceber na estatística descritiva (A) que a maior taxa de defeitos ocorreu na espessura com 3,34 % e o menor no esquadro (0,74%) no produto PS629. O

coeficiente de variação demonstra que apesar do menor índice de defeitos do esquadro, este foi o mais instável com variabilidade de 61,72%, enquanto na espessura houve menor variabilidade (34,29%).

Tabela 3 - Média, desvio padrão, coeficiente de variação em percentual a referente proporção de defeitos nas amostras analisadas (A) e correlações entre os parâmetros de comprimento, espessura e qualidade do produto PS629(B)

Descritivas			
	Comprimento	Espessura	Esquadro
Média	1,11	3,34	0,74
Desvio padrão	0,63	1,15	0,46
Cx. Variação	56,97	34,29	61,72
Correlações			
	Comprimento	Espessura	Esquadro
Comprimento	1,00	0,60	0,00
Espessura		1,00	0,27

Fonte: Os autores com dados da pesquisa, 2022.

As correlações (B) demonstrou forte associações positivas entre comprimento com a espessura (0,60) e nula com o esquadro. Entre espessura e esquadro houve fraca correlação (0,27).

Nos três produtos analisados pode-se observar que a não conformidade mais frequente refere-se a espessura dos produtos com médias de 1,12% (PS315), 2,48 % (PS329) e 3,34% (PS629). A avaliação da qualidade de painéis produzidos compreende na determinação propriedades físicas: como teor de umidade; densidade; absorção de água e inchamento em espessura (BALDIN *et al.*, 2016)

Os parâmetros de comprimento e esquadro apresentaram forte associação de ocorrência apenas no produto PS315(0,70), com fraca e nula nos demais produtos. Desta forma, analisando-se com os três produtos não se pode afirmar que a ocorrência da não conformidade comprimento ocorre simultaneamente com o esquadro.

As não conformidades totais variaram entre 2 e 5% para as amostras analisadas, que devem ser monitoradas a fim de permitir a redução destes indicadores por meio de ações corretivas. A avaliação deste processo demonstrou por meio do controle da porcentagem de defeituosos mostrou-se estável, pois não apresentou um número fora dos limites esperados. Este procedimento pode ser utilizado para mensurar distintos processos industriais como o número de defeitos em um beneficiamento de uvas (MACHADO; SANTOS, 2020). Os processos industriais devem ser controlados e monitorados a partir de técnicas estatísticas, a fim de, por

meio de amostragem, conseguir avaliar o seu desempenho. Quando esses processos são altamente capazes, ou seja, cujos índices de capacidade são altos, o gráfico de controle de aceitação se torna uma das ferramentas mais relevantes para tal monitoramento (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

4 CONCLUSÕES

A avaliação deste processo por meio do controle da porcentagem de defeituosos demonstrou-se estável, pois não apresentou parâmetros acima dos limites esperados pelo controle estatístico do processo. Os parâmetros de espessura, comprimento e esquadro exigidos foram atendidos em mais de 96% dos produtos, contudo os valores fora das especificações são considerados defeitos e em não conformidade ao padrão de qualidade, sendo estes produtos separados como segunda linha e destinados a mercados de menor valor agregado e menor rentabilidade.

Os parâmetros de espessura, comprimento e esquadro se associaram em apenas um produto, sendo que no contexto geral do processo de defeitos não se associam, portanto não houve associação clara entre os surgimentos dos defeitos.

Uma vez identificados as ocorrências de não conformidades podem-se analisar as causas especiais e atuar sobre elas, melhorando continuamente os processos de produção e, por conseguinte, a qualidade do produto final.

REFERÊNCIAS

BALDIN, T. *et al.* Qualidade de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e capim-annoni. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 3, p. 230-237, 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1190/119047705013.pdf>. Acesso em: 05 maio 2021.

GOMES, F.; MARINHO, M. Aplicação de FMEA e CEP para redução de sucata em uma indústria metalúrgica. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 4, n. 3, p. 11-23, 22 abr. 2019.

IWAKIRI, S. *et al.* Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. único, p. 137-142, 2012. Disponível em: <https://www.floram.org/article/588e21f9e710ab87018b45c7/pdf/floram-8-%C3%BAnico-137.pdf>. Acesso em: 05 maio 2021.

MACHADO, W. R. B.; SANTOS, P. V. S. Mensuração da capacidade do processo de beneficiamento de uva de mesa em um packing house: estudo de caso em uma empresa no Vale do São Francisco. **Navus: Revista de Gestão e Tecnologia**, v. 10, n. 1, p. 1-15, 2020.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. 2ed. Cengage, 2008.

OLIVEIRA, M.; FERREIRA, U. R. Aplicação da metodologia ‘Seis Sigma’ para redução das perdas de produção na fabricação de celulose. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, v. 27, 2005. **Anais** [...]. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2005/pdf/arq0150.pdf>. Acesso em: 05 maio 2021.

OLIVEIRA, B. K.S.; OPRIME, P. C.; JARDIM, F. S. Desenvolvimento de um modelo estatístico para medir o desempenho do gráfico de aceitação a partir dos índices de capacidade do processo. **Cadernos do IME-Série Estatística**, v. 45, p. 1, 2018. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/cadest/article/view/39472>. Acesso em: 05 maio 2021.

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 2019.

PEDRAZZI, C. *et al.* Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose. **Ciênc. Florest.**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 201-212, jun. 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-50982006000200201&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 05 maio 2021. <http://dx.doi.org/10.5902/198050981899>.

SILVA, T. A.L *et al.* Utilização do controle estatístico de processo (CEP) na avaliação de uma estação de tratamento de efluente agroindustrial. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 2, p. 310-322, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20140022>. Acesso em: 25 maio 2021.

SLACK, N. *et al.* **Administração da produção**. 8 eds. São Paulo: Atlas, 2018

VOLTARELLI, M. A. *et al.* Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar efetuado por facas de diferentes angulações e revestimentos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 438-447, 2017.