

REDUÇÃO DE VARIABILIDADE NA TRAÇÃO DA FIBRA DE CELULOSE BRANQUEADA

Amanda Mendonça de Almeida¹, Jéssica Cristina dos Santos¹

¹ Klabin S/A - Brasil

RESUMO

O índice de tração é a propriedade que mede a resistência do material aos diferentes tipos de força encontrados ao longo do processo de produção de papel. Fibras de celulose branqueada exercem participação importante nas propriedades mecânicas do papel cartão, tais como tração, alongação e TEA (Tensile Energy Absorption), propriedades fundamentais para o bom desempenho do papel durante a etapa de conversão e, consequentemente, para produção de embalagens de alta qualidade. O objetivo deste trabalho foi reduzir a variabilidade do índice de tração da fibra de celulose branqueada por meio da melhoria do índice de capacidade do processo (CpK), medida estatística que quantifica a relação entre a variabilidade do processo e as tolerâncias especificadas para um determinado produto. A metodologia aplicada neste estudo abrangeu a análise de correlações entre variáveis de processo, identificação e eliminação de causas especiais de variações, levando-se em consideração as hipóteses de degradação excessiva da fibra no processo de branqueamento e seletividade no estágio de cozimento da polpa. A gestão cuidadosa das condições operacionais, com foco nos controles de fator H e álcali aplicado desempenhou um papel fundamental na obtenção dos resultados desejados. Ao fim do projeto, a meta de aumento de 47% do CpK do índice de tração da fibra branqueada foi superada, atingindo-se um CpK de 1,4, garantindo um processo sob controle estatístico.

Palavras-chave: Tração; Celulose branqueada; Branqueamento; CpK; Lean Six Sigma.

INTRODUÇÃO

A qualidade do papel cartão é uma preocupação central na indústria de embalagens, em que propriedades como resistência mecânica são cruciais para garantir a integridade e eficácia do produto. Um parâmetro vital na avaliação da resistência dos materiais é o índice de tração, que proporciona uma medida da capacidade de um papel suportar as múltiplas forças inerentes

ao processo de produção e uso. Tal índice reflete a relação entre a resistência à tração e a gramatura do papel, oferecendo informações fundamentais sobre como as fibras de celulose branqueada contribuem para as propriedades mecânicas do papel cartão, visto que a celulose branqueada desempenha um papel importante na determinação de atributos como tração, alongação e absorção de energia em tração (TEA).

Quando a resistência à tração da camada branca do papel cartão não está conforme, impactos na conversão do papel em embalagem podem ocorrer. Exemplo disso são as embalagens para líquidos, em que, por esforços de tensão, trincas no flap superior durante o envase podem ocasionar a perda da esterilidade da embalagem, indo muito além do defeito estético e podendo ocasionar um problema de integridade da embalagem.

Tendo em vista os impactos do índice de tração da fibra branqueada no produto final, e considerando-se a dificuldade em ajustes de refinação na máquina de papel para correção deste problema, o presente trabalho visou a avaliação do CpK desta variável, com meta de aumento de 66% (CpK = 1).

Índice CpK:

O índice CpK é uma medida de desempenho de processo que considera a distância entre a média do processo e os limites de especificação, Limite Inferior de Especificação (LIE) e Limite Superior de Especificação (LSE). Enquanto o índice Cp avalia a variação em relação ao valor nominal da especificação, o índice CpK proposto por Kane (1986) visa corrigir a limitação de Cp, que pode induzir a conclusões incorretas quando um processo não está centrado no valor nominal.

A fórmula para o CpK é dada pela Equação 1, onde LSE é o limite superior de especificação; LIE é o limite inferior de especificação; μ é a média do processo e σ é o desvio-padrão do processo.

$$C_{pk} = \text{MIN} \left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right) \quad (\text{Eq. 1})$$

Se o processo estiver centrado no valor nominal da especificação, então $C_p = C_{pk}$. Se C_p difere de C_{pk} , indica que a média não coincide com o valor nominal das especificações.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a determinação do índice de tração foram utilizados os padrões conforme a ISO 1924-2, em que uma porção do papel é o corpo de prova com largura e comprimento especificações é submetido a um esforço de tração exercida uniformemente crescente em suas extremidades até sua ruptura. A Equação 2 representa como o índice é calculado, onde IT é o índice de tração, expresso em Nm/g, RT, é a resistência à tração, expressa em kN/m, e G é a gramatura do corpo de prova, expressa em g/m².

Para a realização dos testes de resistência à tração, foi utilizado o equipamento L&W Tensile Tester.

$$IT = \left[\frac{RT}{G} \right] \times 10^3 \quad (\text{Eq. 2})$$

Para uma abordagem abrangente, o estudo também incluiu a Análise do Sistema de Medição (MSA), que avaliou a

confiabilidade e precisão dos dispositivos de medição, bem como a conformidade com os padrões de processo existentes. A verificação dos dispositivos de medição obteve resultados conformes, eliminando-se, portanto, potenciais fontes de incerteza nos resultados obtidos.

Na sequência, analisou-se a capacidade dos índices de tração calculados, obtendo-se um Cpk de 0,6, indicando um processo com alta variabilidade e ligeiro deslocamento em relação ao objetivo, com 5,75% dos pontos fora dos limites de especificação, conforme Figura 1.

Após avaliação de Cpk foram avaliadas as principais variáveis das etapas de cozimento, deslignificação e branqueamento, sendo as de maior impacto a tração da fibra após o processo de cozimento e anterior ao processo de branqueamento, viscosidade na etapa de deslignificação, álcali aplicado, temperatura nos estágios de cozimento e branqueamento, índice de tração da fibra branqueada e viscosidade no estágio de branqueamento.

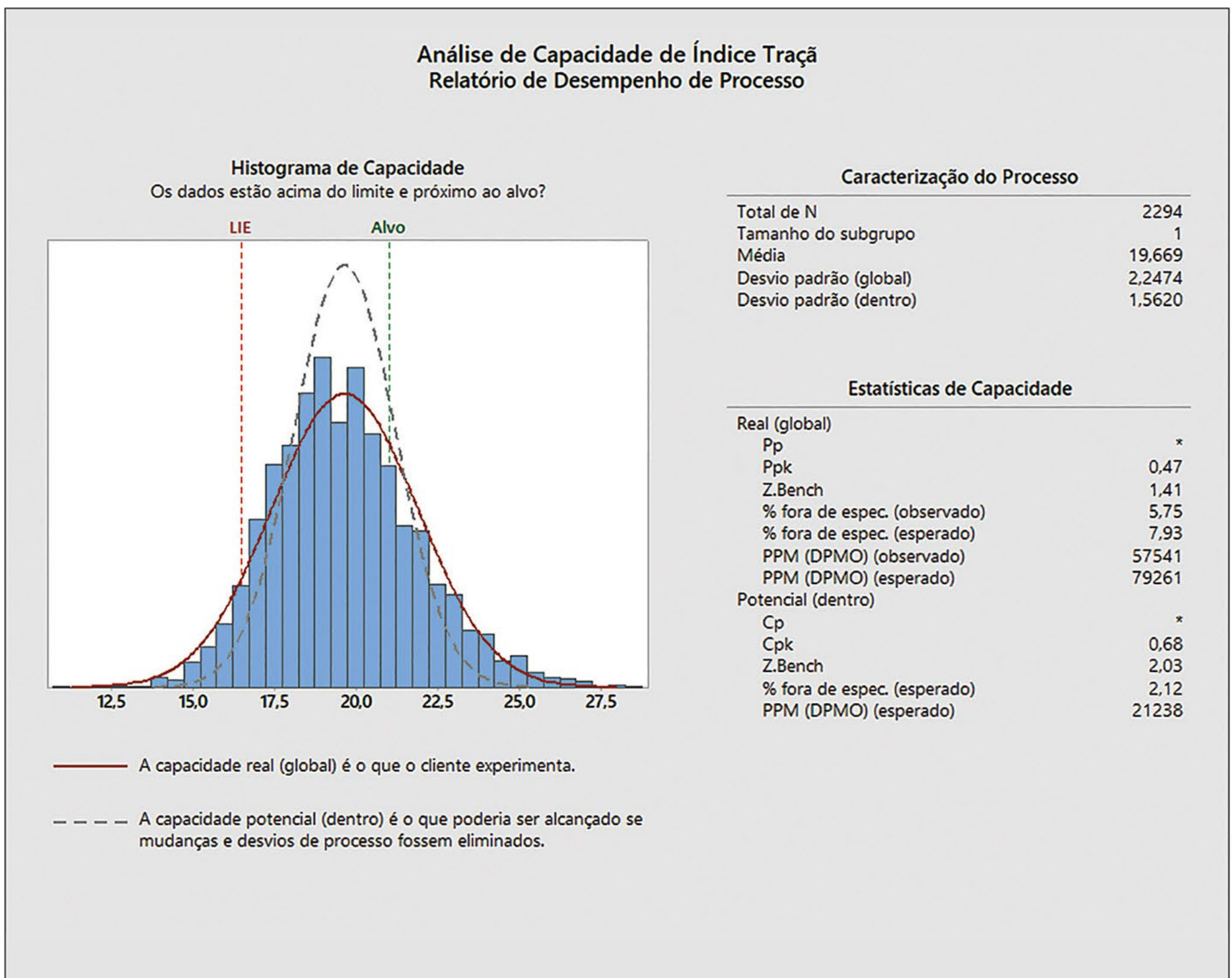


Figura 1. Análise de capacidade do índice de tração da fibra branqueada

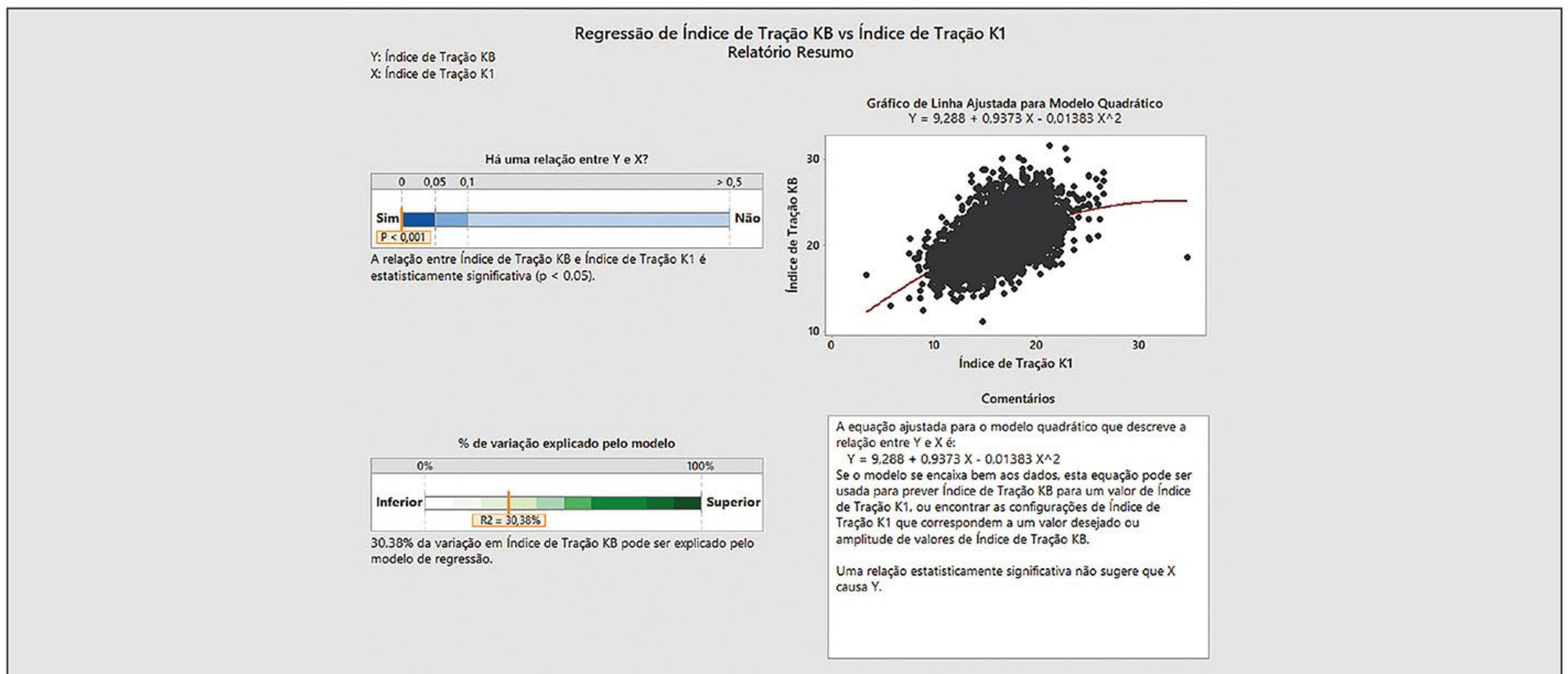


Figura 2. Correlação entre Tração K1 e KB e relação entre queda de tração e problemas no digestor

Uma análise detalhada revelou uma correlação interessante entre o índice de tração da polpa celulósica após a cozimento e o índice de tração da polpa celulósica branqueada, conforme Figura 2.

A análise de regressão entre esses dois parâmetros apresentou uma tendência semelhante, sugerindo relação causal entre eles. Após a confirmação, as variáveis relacionadas ao processo de polpa após o cozimento foram minuciosamente examinadas e priorizadas em relação às variáveis das etapas de deslignificação e branqueamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do entendimento das causas raízes de variabilidade, duas hipóteses centrais foram exploradas neste estudo. A pri-

meira se refere à possibilidade de uma degradação excessiva da fibra durante o processo de branqueamento, influenciada pela variação de temperatura. Esse aspecto foi avaliado em detalhes para entender o impacto das variações térmicas nos resultados da tração da fibra. A Figura 3 apresenta os resultados de Fator H. Observou-se que durante todo o período os valores estão acima do limite superior, indicando uma taxa de despolimerização final dos polissacarídeos mais alta, ou seja, uma maior degradação da fibra.

Além do fator H, tratou-se também da baixa seletividade no cozimento, em que ficou evidenciado que a dosagem de álcali ativo era insuficiente para o cozimento. Segundo Irvine e Clark (1994), “a temperatura deve ser baixa, principalmente nas fases inicial e

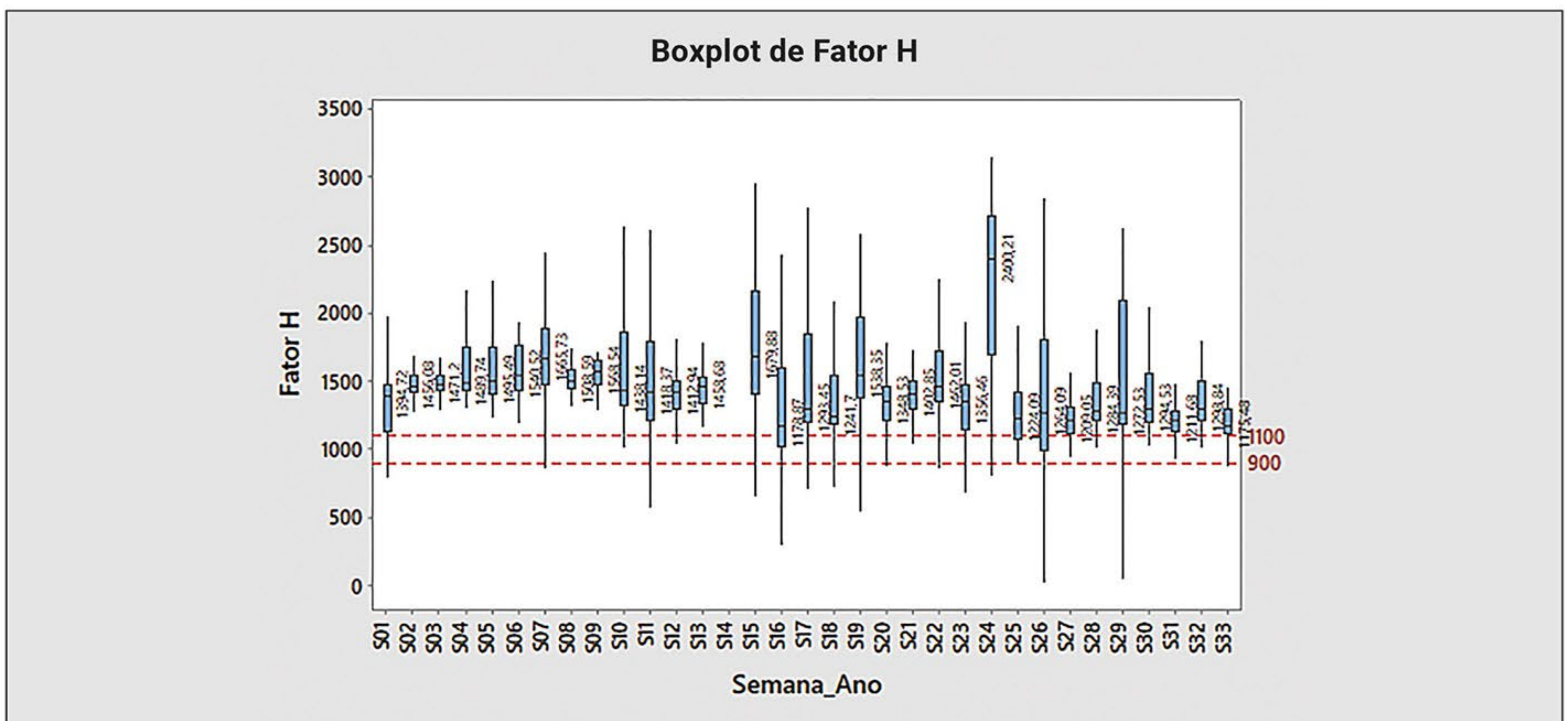


Figura 3. Boxplot da variável Fator H

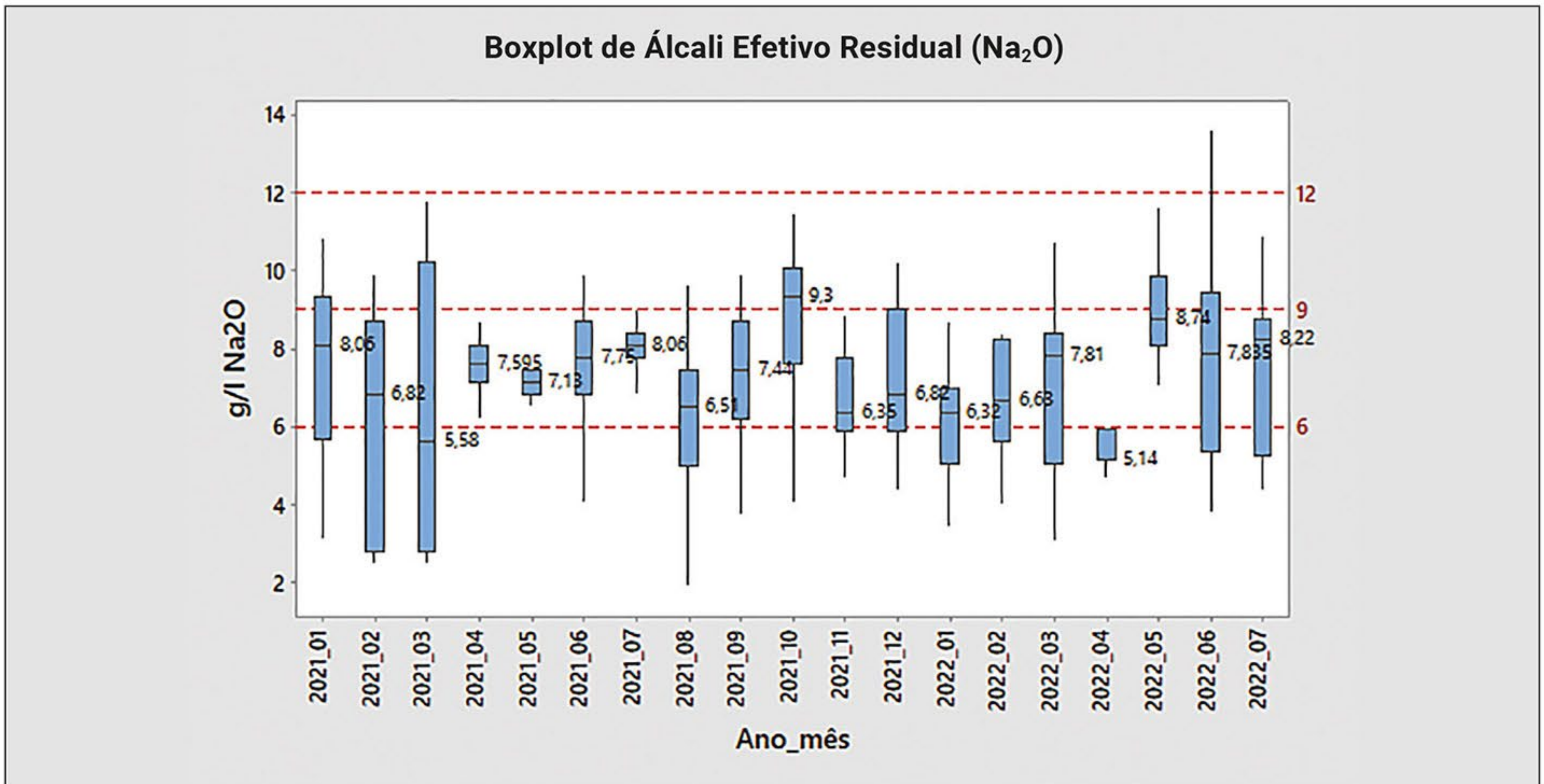


Figura 4. Boxplot da variável álcali efetivo residual

final do cozimento, por causa da baixa seletividade da polpação nessas etapas. A taxa de despolimerização final dos polissacarídeos aumenta mais rápido com o aumento da temperatura que a taxa de deslignificação e, assim, uma baixa temperatura de polpação melhora a seletividade da polpação”. Tendo-se em vista estes fatores, foram redefinidos os valores de setpoint de fator H.

Seguindo na linha de aumento da taxa de degradação da fibra por aumento de temperatura, foram avaliados álcali efetivo (AE) e álcali efetivo residual (Na₂O). Considerando-se que este afeta tanto o rendimento quanto a qualidade da polpa, já que o álcali efetivo é consumido por reações com extrativos da madeira, degradação das hemiceluloses por despolimerização da cadeia principal, despolimerização terminal das moléculas de

celulose e a degradação da lignina, foram avaliados os valores de álcali residual, conforme Figura 4.

Os resultados do período avaliado mostram que os valores apresentavam variabilidade e que a mediana estava próxima do limite inferior de especificação, indicando maior consumo do álcali efetivo residual durante o processo de cozimento, gerando maior degradação na fibra – dessa maneira, focou-se na adequação de dosagens de álcali.

A segunda hipótese considerou a precisão das medições de kappa realizadas pelo analisador, uma vez que esta métrica é crucial para avaliar a quantidade de lignina presente na polpa celulósica. A investigação buscou identificar e quantificar eventuais desvios nas medições de kappa e suas implicações nos resultados – observar Figura 5.

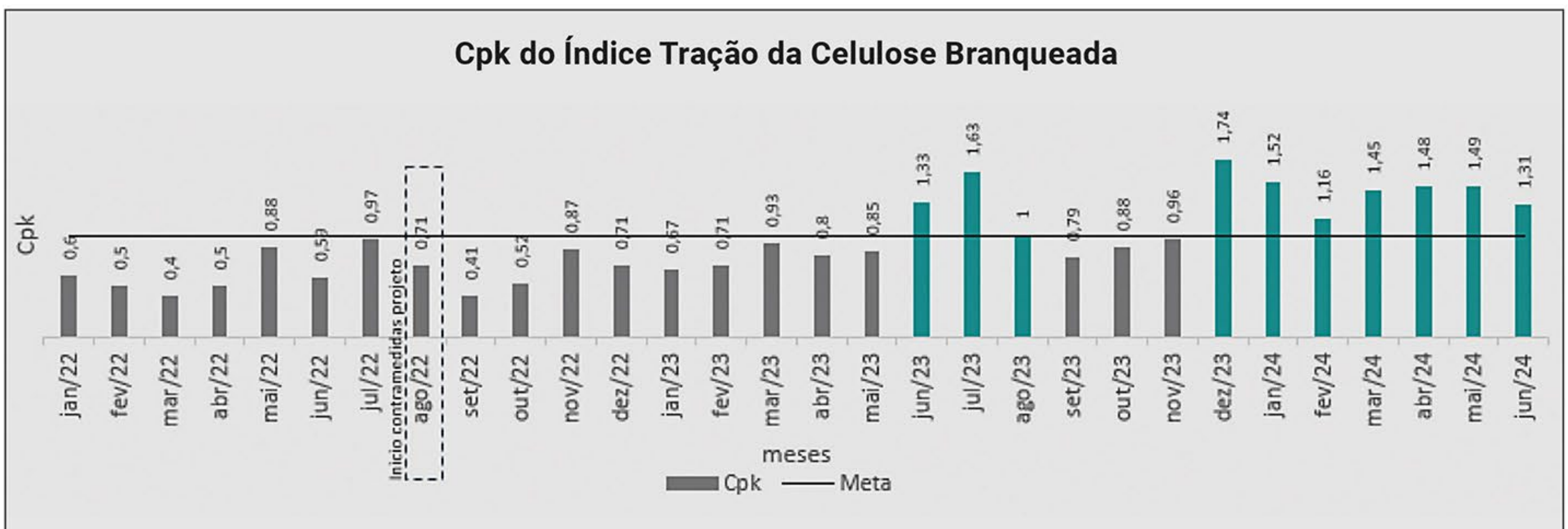


Figura 5. Resultados – Cpk do índice de tração da fibra branqueada

Após executadas as contramedidas citadas anteriormente, o Cpk aumentou em 133%, superando o patamar esperado de processo estável e em controle estatístico ($Cpk = 1$).

Além da redução da variabilidade do índice de tração, também foram evidenciados melhores valores em viscosidade da fibra branqueada. Sendo “a viscosidade uma forma indireta de mensurar o grau de degradação das cadeias de carboidratos, sendo que quanto maior o valor de viscosidade, maior tende a ser o tamanho médio das cadeias de carboidratos presentes na polpa” (ALENCAR, 2002), fica evidente que os ajustes realizados no processo foram coerentes.

CONCLUSÕES

Com base nas análises, torna-se evidente que, nas condições analisadas, baixas temperaturas e impregnação adequada durante o processo favoreceram a seletividade de polpação, reduzindo a degradação da fibra e proporcionando a resistência mecânica da polpa branqueada. Quanto à metodologia aplicada, também ficou evidente que a eliminação de causas especiais de variações de processo é importante para garantir um processo sob controle estatístico e, portanto, mais estável.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os envolvidos que, direta ou indiretamente, colaboraram com este projeto, em especial à Klabin pela oportunidade concedida. ■

REFERÊNCIAS

ALENCAR, G. Estudo da qualidade da madeira para produção de celulose relacionada à precocidade na seleção de híbrido E grandis x E urophylla. Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 145 f, 2002.

BAKER, C. F., & CARRÉ, B. R. Effect of kappa number and pulp yield on the tensile properties of softwood kraft pulps. *Tappi Journal*, 5(6), p. 9-14, 2006.

COLODETTE, J. L., & GOMIDE, J. L. Bleaching pulp with hydrogen peroxide. In: *Pulp Bleaching-Principles and Practice*, 2010.

IRVINE, M. G.; CLARK, N. B. Extended delignification of mature and plantation eucalypt wood. In: *International Pan Pacific Conference*, San Diego, Proceedings. San Diego: TAPPI, 1994. v. 1, 1994.

KANE, V. E. Process Capability Indices. *Journal of Quality Technology*, v. 18, n. 1, p. 41-52, 1986.

MÄKELÄINEN, K., ALÉN, R., & TANSKANEN. Implications of deviations from normal operation limits on kraft pulp mill processes and product quality. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 19(4), p. 506-514, 2004.

PYZDEK, T., & KELLER, P. A. *The Six Sigma Handbook* (4th ed.). McGraw-Hill Education, 2014.

revista
o papel

**NOTÍCIAS
ATUAIS DO
SETOR DE
CELULOSE E
PAPEL E OS
INDICADORES
FINANCEIROS
DO SETOR
NA PALMA DA
SUA MÃO**

Para assinar ou anunciar:
relacionamento@abtcp.org.br
www.abtcp.org.br