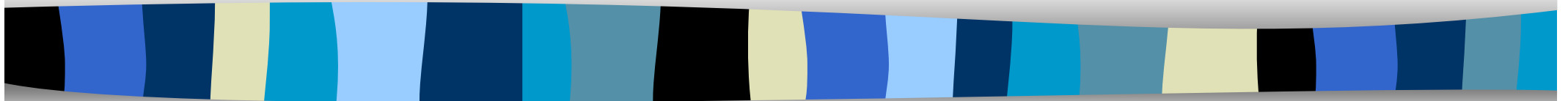
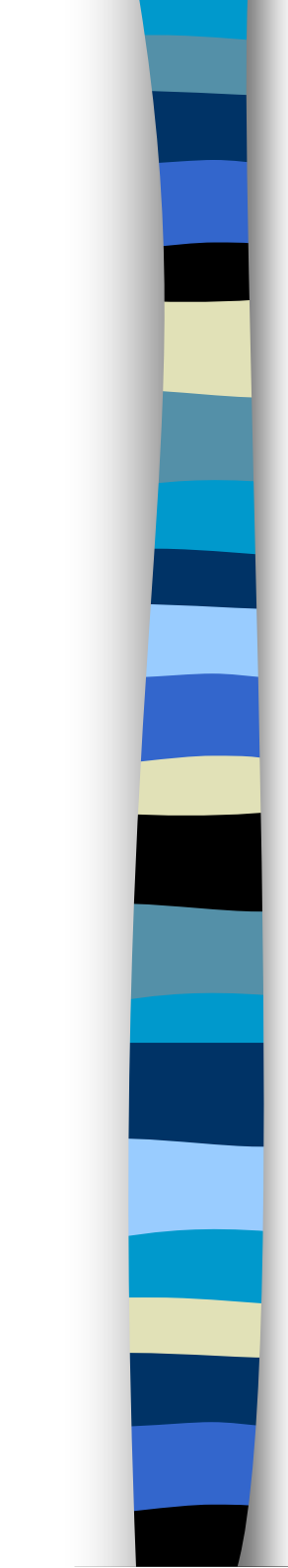



Uso da Análise de Variância na Fase de Análise do Ciclo PDCA para Melhorar Resultados







Uma indústria produz molas de aço, as quais têm a dureza como uma de suas principais características da qualidade, ou seja, a dureza corresponde a um dos itens de controle do processo de produção destas molas.



Nesta empresa, o gerenciamento para manter é realizado por meio do giro do Ciclo SDCA. Na fase de verificação do SDCA, o monitoramento da estabilidade do processo de produção das molas em relação ao item de controle *dureza* é feito por meio de gráficos de controle e R.

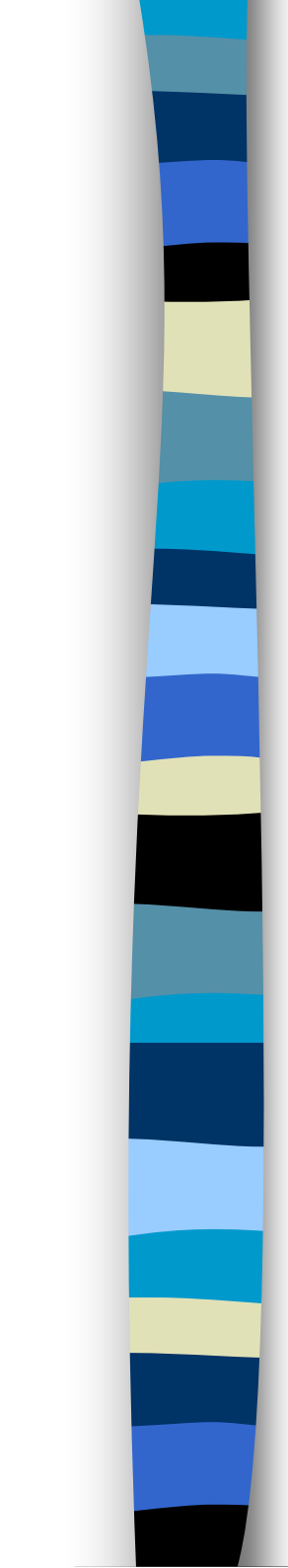


Neste monitoramento, a cada dia são retiradas, em intervalos de tempo regulares, seis amostras de molas produzidas pelo processo, sendo cada amostra de tamanho $n = 4$. A seguir, os valores obtidos para a dureza média e para a amplitude das medidas de dureza de cada amostra são representados nos gráficos de controle correspondentes.

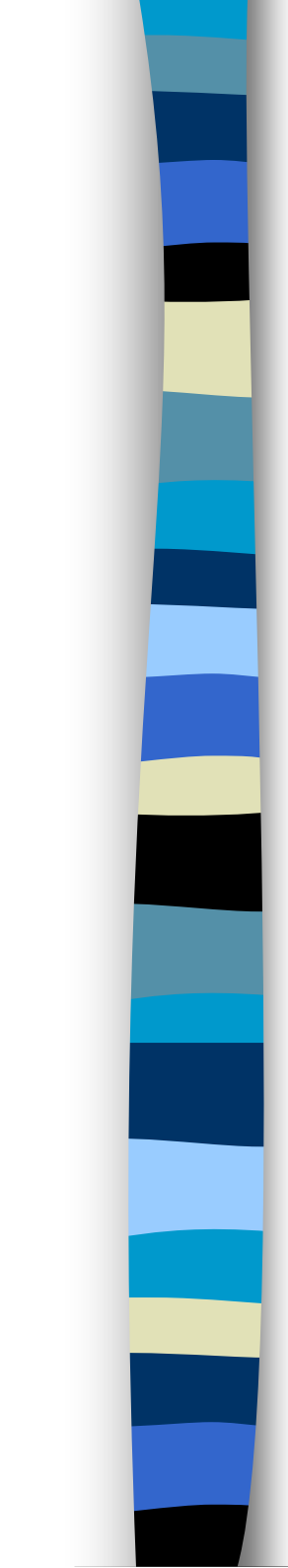


Ultimamente, o processo não vem se mostrando estável, tendo sido detectada a seguinte situação nos gráficos de controle e R .


- O gráfico R vem indicando um processo sob controle em relação à variabilidade.
- No gráfico vem ocorrendo pontos acima do limite superior de controle (LSE), indicando que o processo saiu do estado de controle estatístico devido à atuação de alguma causa de variação assinalável, que parece ter provocado um aumento da média do processo.



Esta situação deu origem a uma anomalia crônica cuja eliminação foi considerada prioritária pela empresa. Foi então iniciado o giro do Ciclo PDCA para melhorar resultados.

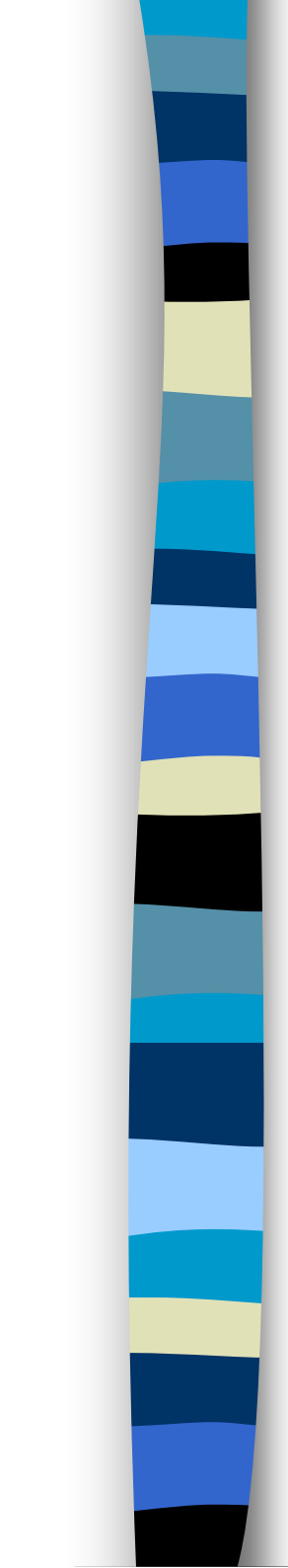


Note que o problema identificado na fase 1 da etapa de Planejamento do Ciclo PDCA foi gerado pela anomalia crônica prioritária identificada a partir do Ciclo SDCA: *falta de estabilidade do processo de produção das molas.*

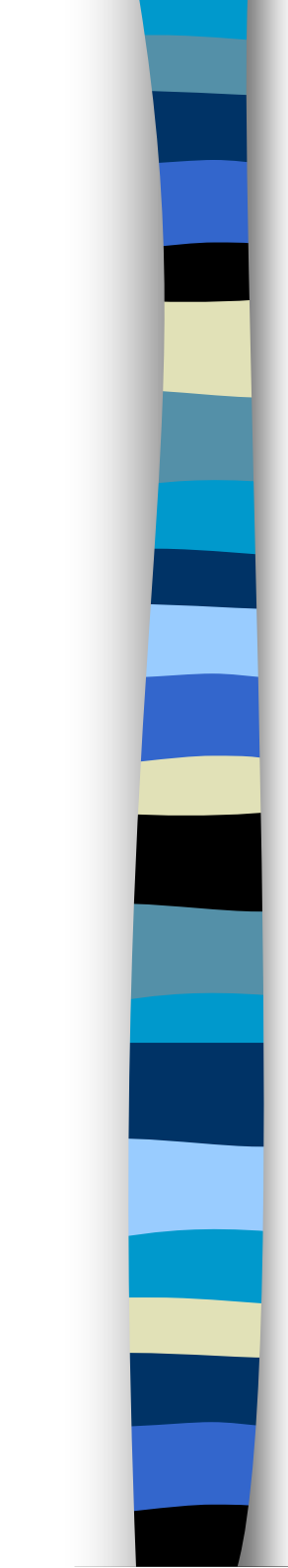


Na fase de **observação** do Ciclo PDCA, foi feita uma análise do fenômeno, que consistiu em investigar as características específicas do problema, sob vários pontos de vista, pôr meio de uma realização de estratificação.


Como o aço utilizado para fabricar as molas era comprado de três diferentes fornecedores (A,B,C), a equipe da indústria decidiu estratificar os gráficos de controle \bar{X} e R pôr fornecedor de aço.



No entanto , não era possível estratificar os pontos já lançados nos gráficos de controle, porque a indústria não era capaz de identificar, para cada amostra de molas extraída para a construção dos gráficos, qual era o fornecedor do aço que havia sido utilizado como matéria-prima.



Em vista desta situação, a equipe da indústria decidiu que , no dia seguinte (quarta-feira), o instante em que o aço de cada fornecedor passasse a ser utilizado na produção, seria registrado pelo sistema de controle do estoque de matéria prima da empresa.



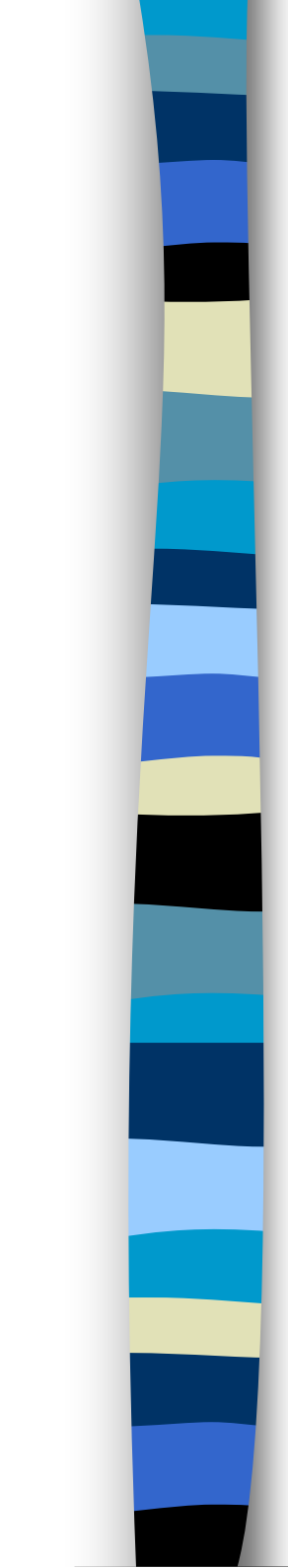
A partir do registro destes instantes, seria possível identificar, para este dia, o fornecedor de aço utilizado para produzir as amostras de molas cujos valores de \bar{x} e R seriam lançados nos gráficos de controle.

Adotando este procedimento, a equipe de trabalho da empresa coletou os dados apresentados na Tabela 4.1. Os gráficos de controle \bar{x} e R para a dureza das molas produzidas naquela semana, até a quarta-feira, são mostradas na Figura 4.1.

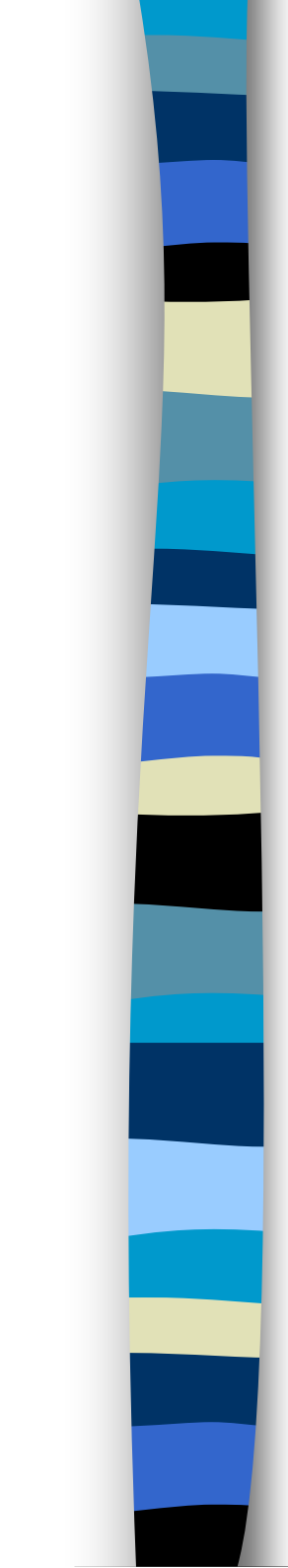
Tabela 4.1: Medidas de Dureza das Amostras de Molas Retiradas do Processo na quarta-feira.

Fornecedor de					
Aço	Subgrupo	Medidas de Dureza (HB) ¹			
A	13	421,4	414,0	410,6	437,1
C	14	381,2	413,9	415,6	391,3
C	15	385,4	383,9	372,3	374,9
B	16	434,3	387,0	406,2	405,2
B	17	384,1	408,0	404,3	416,1
A	18	448,2	402,7	428,9	420,3

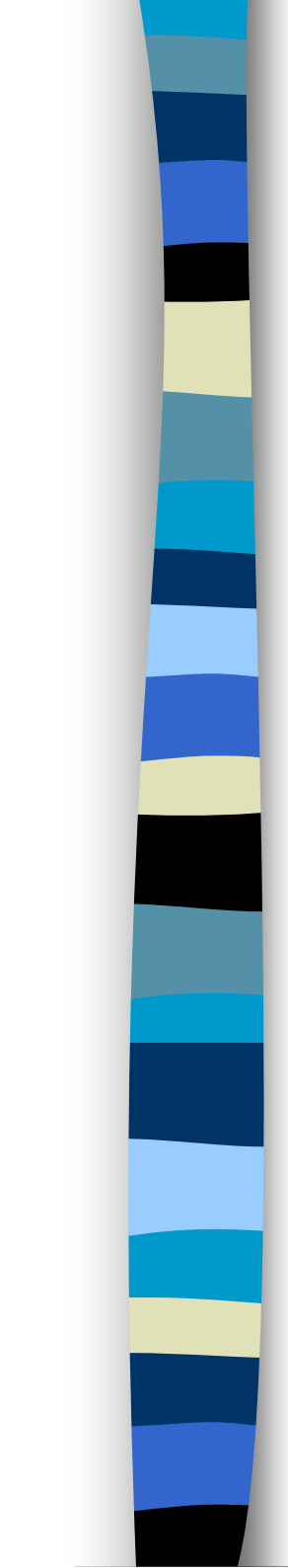
(HB)¹ representa a unidade de medida de dureza definida como índice de dureza Brinell.




Quando os responsáveis pela solução do problema analisaram o gráfico de controle R, agora estratificado por fornecedor de aço na quarta-feira, foi possível observar que o processo estava sob controle em relação à variabilidade. Já o gráfico apresentava na quarta-feira três pontos fora dos limites de controle. Os pontos acima de LSC, para as amostras 13 e 18, correspondem à dureza média das molas fabricadas com o aço do fornecedor C.

A decorative vertical bar on the left side of the slide, composed of various colored segments including shades of blue, black, yellow, and grey.


De posse destas e outras informações sobre as características específicas do problema, a equipe da indústria encerrou a fase de observação do Ciclo PDCA e passou à fase de **análise**, com o objetivo de descobrir a causa fundamental do problema.



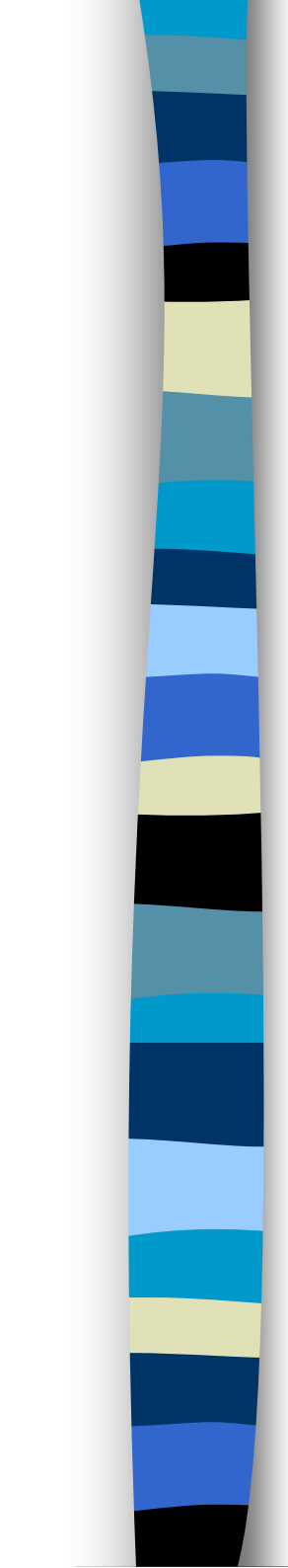
Com base nas informações dispostas pelos gráficos de controle \bar{X} e R , construídos na fase de observação do Ciclo PDCA, os técnicos da empresa passaram a suspeitar que talvez estivessem ocorrendo problemas com a qualidade do aço comprado dos fornecedores A e C.



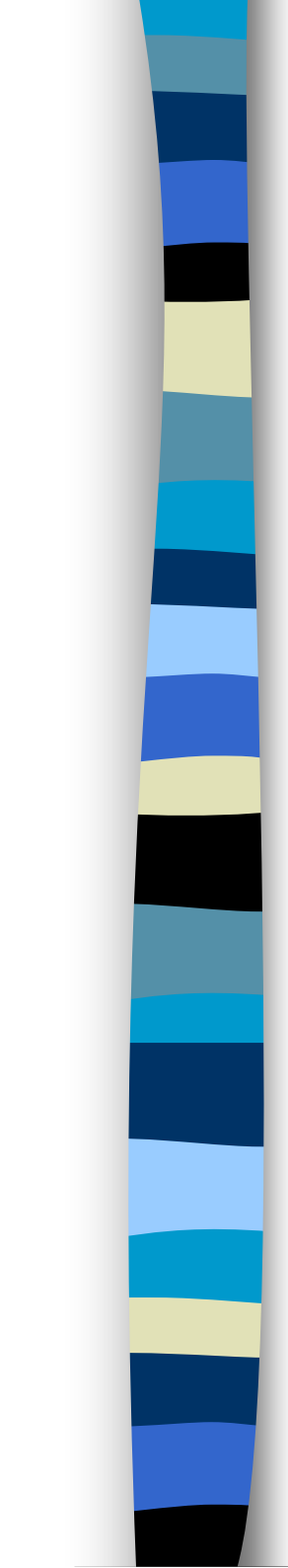
É importante ressaltar que a suspeita da indústria foi provocada pelo fato de que, até certo ponto atrás, a dureza do aço comprado pela empresa correspondia a um item de verificação do processo de produção das molas, porque uma dureza média inadequada ou uma elevada variabilidade na dureza do aço utilizado poderiam comprometer a qualidade das peças produzidas.



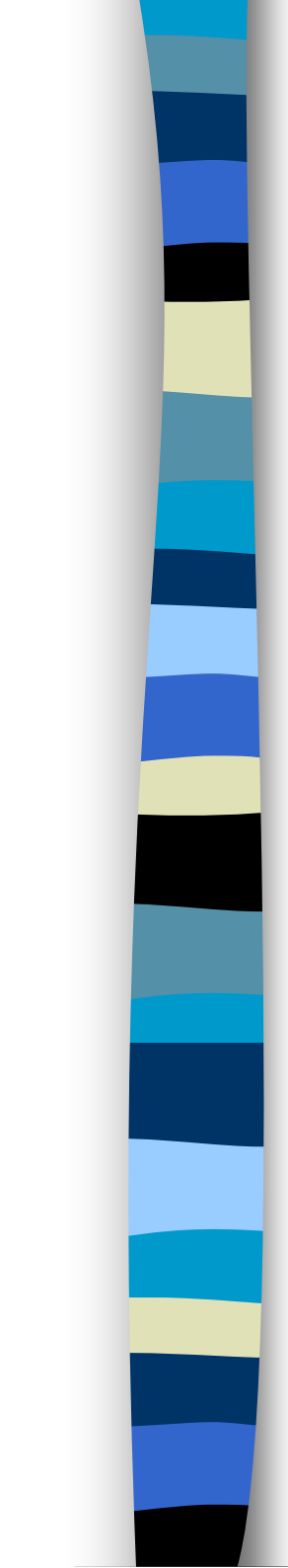
No entanto, como os fornecedores de aço foram considerados confiáveis, os itens de verificação referentes a qualidade do aço comprado foram desativados, já que o aço deixou de ser considerado uma causa potencial de problemas. portanto, a causa a ser analisada em detalhes era a possível queda do nível da qualidade do aço vendido por algum dos fornecedores da indústria.




Esta queda do nível de qualidade poderia ser traduzida em termos de uma dureza média inadequada ou de uma grande variabilidade na dureza do aço que estava sendo vendido a empresa.



Com o objetivo de obter mais informações sobre o comportamento do processo , a equipe de trabalho da indústria construiu um diagrama de pontos e um "boxplot" , para todas as medida de dureza obtidas na quarta-feira.



No diagrama de pontos estão também representados os limites de especificação para este item de controle, que são $LIE=370 \text{ HB}$ e $LSE = 435 \text{ HB}$, onde LIE e LSE representam, os limites inferior e superior de especificação, respectivamente.



Podemos notar, pelo diagrama de pontos, que neste dia o processo apresentou uma elevada variabilidade, ocorrendo duas medidas de dureza fora da faixa de especificação. Para tentar verificar se esta elevada variabilidade poderia estar sendo provocada por diferenças na qualidade do aço comprado dos fornecedores A, B e C, foram construídos diagramas de pontos e boxplots estratificados por fornecedor de aço.

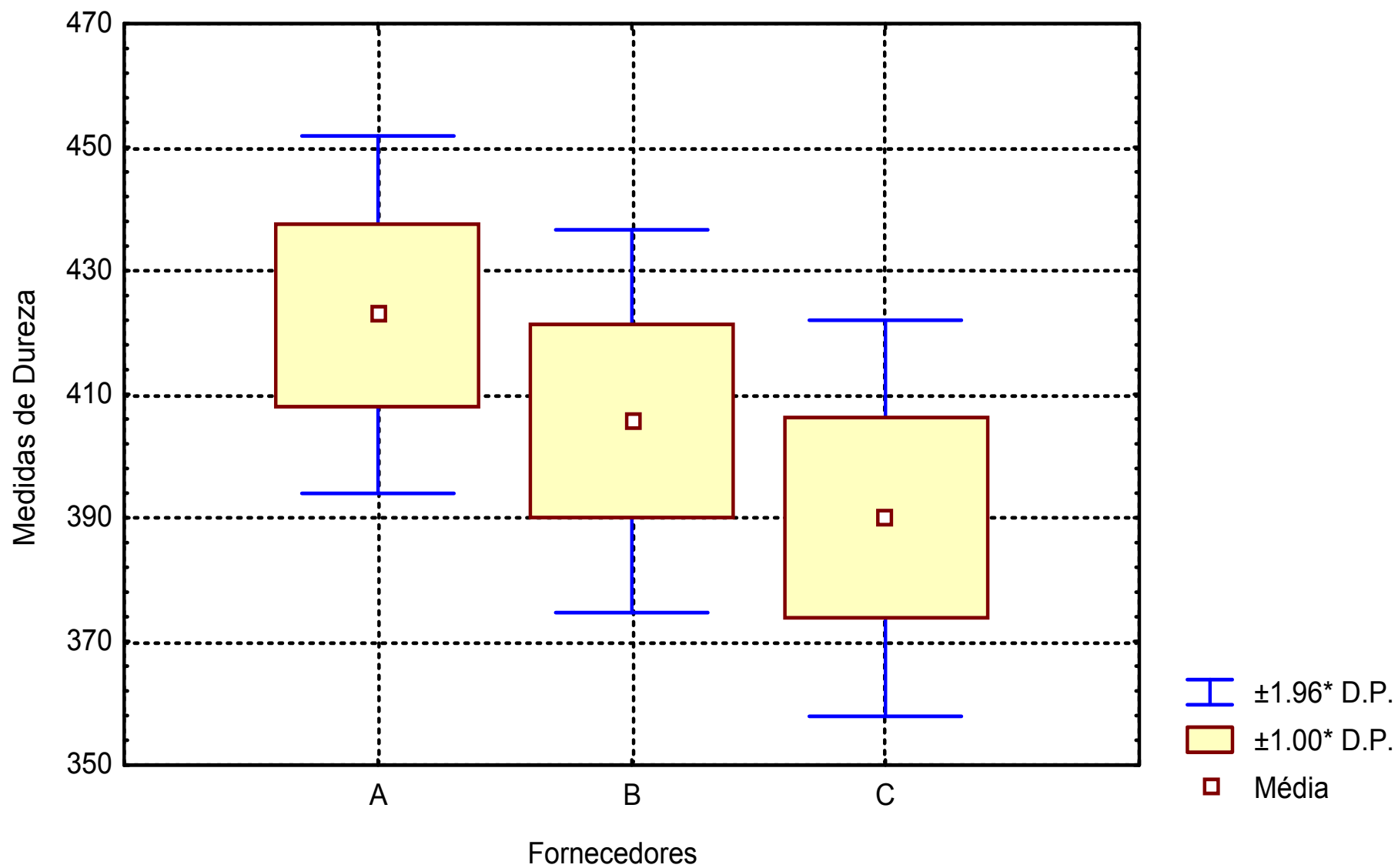


FIGURA 1 – Gráfico Box-plot