

## **CONSTRUÇÃO DE CARTA DE CONTROLE PARA AVALIAÇÃO DA SIGNIFICÂNCIA DOS DESVIOS ENTRE CORREÇÕES MANUAIS E ELETRÔNICAS EM MEDIÇÕES DE VOLUME DE GNV FATURADO**

José Francisco Moreira Pessanha <sup>a\*</sup>, Narcisa Maria Gonçalves dos Santos <sup>a</sup>,

João de Tarso Pallottino <sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ*

### **Resumo**

O presente artigo tem por finalidade apresentar uma metodologia para avaliação da significância dos desvios entre os faturamentos resultantes de medições de volume de gás natural com correção eletrônica e medições com correção manual por cálculo da temperatura, pressão e compressibilidade em medidores de gás, tipo rotativo, instalados em postos de distribuição de GNV. A metodologia proposta visa dar suporte às investigações sobre os eventuais desvios encontrados nas medições com correção manual e eletrônica que podem ser decorrentes de problemas na calibração dos medidores e corretores ou de possíveis interferências externas. Para ilustrar a aplicação da metodologia proposta, a mesma foi aplicada na análise das séries históricas de faturamento mensal, segundo as correções manual e eletrônica, de um conjunto de postos selecionados.

Palavras-chave: GNV, postos de abastecimento, erros de medição, estatística, controle de qualidade

### **Abstract**

This work presents a methodology for assessing the significance of differences between the billings resulting from natural gas volume measurements with electronic correction and measurements with manual correction by calculating the temperature, pressure and compressibility in gas meters, rotary type, installed in NGV distribution stations. The proposed methodology aims to assist the investigations about the deviations found in measurements with electronic and manual corrections that may be due to issue with meter calibration or from possible external interferences. In order to illustrate the proposed methodology, it was applied on the analysis of billing time series, according to the manual and electronic corrections, from a set of selected natural gas stations.

Keywords: NGV, natural gas station, measurement error, statistics, quality control.

\*Autor para correspondência: e-mail: [professorjfm@hotmai.com](mailto:professorjfm@hotmai.com)

### 1. Introdução

A medição do volume de gás natural veicular (GNV) pode sofrer influência das condições de temperatura, pressão e compressibilidade presentes na rede distribuidora de uma localidade. Em função disso, para fins de faturamento, é necessário corrigir as medições dos volumes de gás consumidos nos postos de distribuição, conforme a legislação brasileira determinada pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) na Portaria Conjunta nº 01 de 19 de junho de 2000 com o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). O método de cálculo definido pelos órgãos reguladores segue o procedimento AGA-8 da American Gas Association.

As empresas distribuidoras podem realizar a correção de forma manual ou eletrônica, em medidores devidamente calibrados e certificados. No caso do Estado do Rio de Janeiro, os medidores utilizados são calibrados, conforme as determinações da Portaria nº 114 do INMETRO, e lacrados com selo do Instituto de Pesos e Medidas do Estado do Rio de Janeiro (IPEM-RJ).

O presente artigo tem por finalidade apresentar uma metodologia para avaliação da significância estatística dos desvios entre os faturamentos resultantes de medições de volume com correção eletrônica de vazão e os faturamentos decorrentes de medições com correção manual por cálculo das variáveis temperatura ( $t$ ), pressão ( $p$ ) e compressibilidade ( $z$ ) dos medidores de gás, tipo rotativo, instalados em postos de distribuição de GNV.

A metodologia proposta visa dar suporte às investigações sobre os eventuais desvios encontrados nas medições com correção manual e eletrônica que podem ser decorrentes de problemas na calibração dos medidores e corretores ou de possíveis interferências externas. Para contornar a assimetria de informação entre os postos e a empresa distribuidora de gás, a metodologia proposta baseia-se no princípio da comparação entre os faturamentos

resultantes de medições com correção manual e de medições com correção eletrônica obtidas no posto avaliado e os respectivos faturamentos observados em um posto de referência, no qual se tem a certeza de que as correções eletrônica e manual fornecem resultados compatíveis.

A metodologia proposta baseia-se na aplicação de métodos estatísticos para construção de uma carta de controle (COSTA et al, 2005; PEDRINI & CATEN, 2011) que permite classificar os desvios entre as correções em duas categorias: normais ou extraordinários (ALBERTAZZI & SOUSA, 2008).

Os desvios normais correspondem às variações aleatórias entre as correções, enquanto os desvios extraordinários são ocasionados por causas externas. Para garantir a comparabilidade dos postos, o posto avaliado e o posto de referência devem estar situados na mesma área geográfica e na mesma linha de distribuição de gás, Os faturamentos mensais observados no posto de referência são utilizados na estimação de um modelo de regressão linear simples (GUJARATI, 2000) em que a variável dependente é o resultado da correção manual e a variável independente é o resultado gerado pelo corretor eletrônico.

A metodologia proposta consiste na construção de uma carta de controle baseada em regressão linear simples (MANDEL, 1969). O gráfico de controle de regressão é um dos principais instrumentos para o controle estatístico de processos (JACOBI et al, 2002; PEDRINI & CATEN, 2008; SURIANO et al., 2012), sendo largamente utilizado nas situações em que a variável resposta de interesse pode ser expressa como uma função linear de apenas uma variável independente (variável de controle). Em situações em que a variável resposta depende de duas ou mais variáveis explicativas o gráfico de controle é construído com base nos resíduos de um modelo de regressão linear múltipla (HAWORTH, 1996; PEDRINI & CATEN, 2011).

Na literatura encontram-se várias aplicações dos gráficos de controle de regressão, por exemplo, no controle de processos de uma empresa de saneamento e meio ambiente (JACOBI et al, 2002), no controle da fração de itens não-conformes (SANT'ANNA et al., 2010), no controle da performance de estudantes (RASHID et al, 2010), no controle de processos industriais (PEDRINI & CATEN, 2011) e na determinação do módulo de elasticidade do concreto (OZKUL & KARAOGLAN, 2011). Adicionalmente, há gráficos de controle construídos com abordagens mais flexíveis baseadas em modelos não lineares (WILLIAMS et al, 2007; JENSEN & BIRCH, 2009) e modelos de regressão não-paramétrica (ZOU et al, 2009; WEI et al, 2012).

Para ilustrar a aplicação da metodologia proposta, a mesma foi aplicada na análise das séries históricas de faturamento mensal, segundo as correções manual e eletrônica, de um conjunto de postos selecionados. A metodologia proposta encontra-se descrita na seção 2, os resultados obtidos no conjunto de postos selecionados são apresentados na seção 3 e, por fim, na seção 4 são resumidas as principais conclusões do trabalho.

### **2. Metodologia Proposta**

A seguir, na Figura 1 são apresentadas as séries mensais de faturamento (R\$) no posto avaliado, segundo as correções manuais e eletrônicas, no período compreendido entre 31/07/2009 e 30/06/2011. Conforme ilustrado na Figura 1, os desvios acontecem ao longo de todo o período, mas somente no final do período analisado são observadas discrepâncias expressivas entre as duas séries de faturamento.

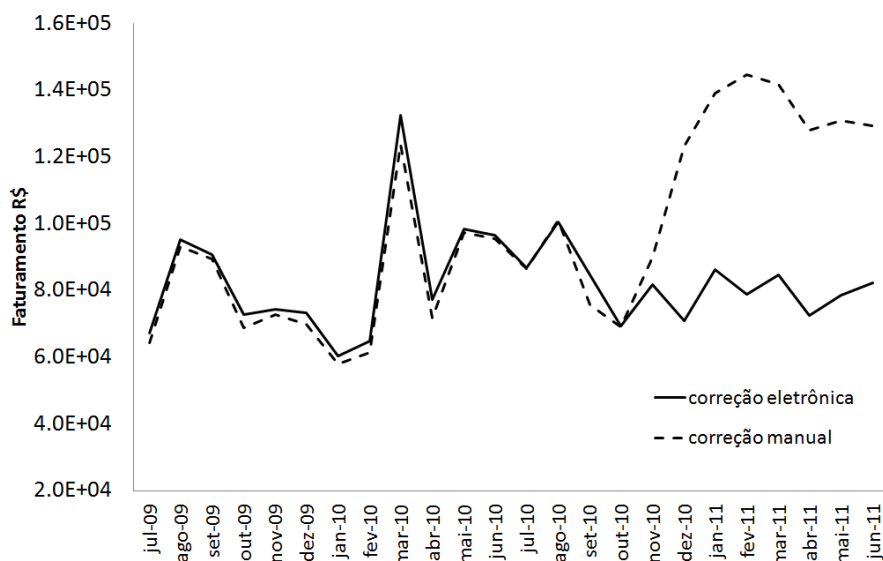


Figura 1. Faturamentos mensais segundo o tipo de correção no posto avaliado

Todo processo de medição está sujeito a erros, logo é natural encontrar pequenos desvios aleatórios entre os faturamentos decorrentes dos distintos métodos de correções, mesmo que o medidor e o corretor eletrônico estejam calibrados corretamente (ALBERTAZZI & SOUSA, 2008). Contudo, desvios grandes sugerem que há problemas no processo de cálculo da correção manual do volume de gás faturado.

Porém, como classificar as magnitudes dos desvios entre pequenas e grandes? Como identificar os registros discrepantes?

A resposta consiste em classificar os registros por meio de uma carta de controle (MANDEL, 1969; PEDRINI & CATEN, 2008), ou seja, considerar um intervalo, de tal forma que valores dentro do intervalo são considerados normais, enquanto valores fora do intervalo são considerados atípicos.

A carta de controle é uma técnica tradicional do controle de qualidade e a sua construção baseia-se na média  $\bar{X}$  e no desvio-padrão  $S_{\bar{X}}$  calculados com base em n registros amostrais da variável que se deseja controlar, obtidos sob a condição de operação normal do sistema ou processo analisado (COSTA et al, 2005).

## PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Admitindo que a variável de interesse seja normalmente distribuída, os limites da carta de controle são definidos de forma que a probabilidade de encontrar valores dentro do intervalo seja da ordem 99%, ou seja, o intervalo  $[\bar{X} - 3S_{\bar{X}}, \bar{X} + 3S_{\bar{X}}]$ .

Valores fora do intervalo são improváveis de acontecerem sob o regime de operação normal, logo se tais valores ocorrem é uma indicação de que são discrepantes e que o sistema ou processo analisado saiu do controle estatístico.

A análise pictórica das séries temporais de faturamento do posto avaliado (Figura 1) não fornece, necessariamente, uma definição clara dos limites do período em operação normal e do período fora de controle estatístico. Adicionalmente, o período em operação normal pode abranger um reduzido número de observações, insuficiente para a construção de uma carta de controle. Assim, recomenda-se que a carta de controle não seja construída com base nos faturamentos observados no posto avaliado.

A solução consiste em encontrar outro posto de GNV, denominado por posto de referência ou benchmark, e localizado na vizinhança do posto avaliado, ambos atendidos pela mesma linha de distribuição de gás. Adicionalmente, o posto de referência selecionado deve operar em condições consideradas normais, ou seja, as séries de faturamentos, segundo as correções eletrônica e manual, devem ser compatíveis e, portanto, podem ser empregadas na construção da carta de controle para o posto avaliado.

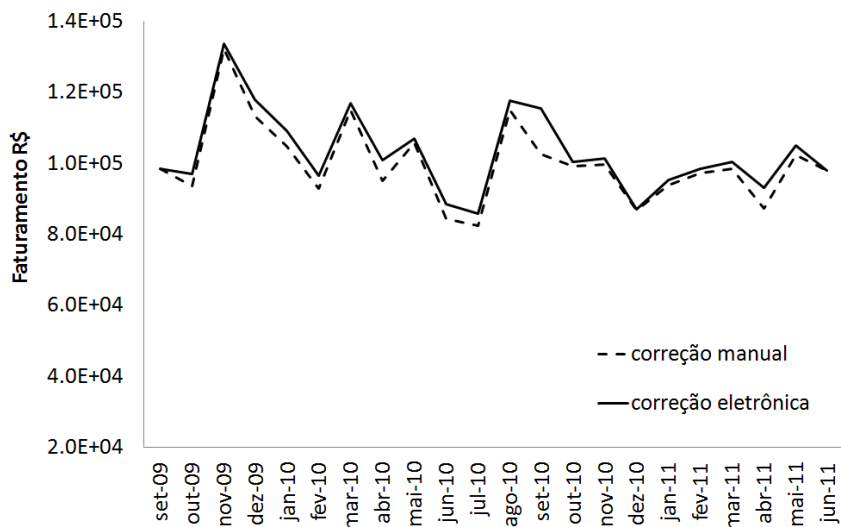


Figura 2. Faturamentos mensais segundo o tipo de correção no posto de referência

Na Figura 2, os pequenos desvios aleatórios observados nas séries de faturamentos indicam que o posto de referência selecionado opera em regime normal. Assim, a relação entre as correções manual e eletrônica no posto de referência pode ser expressa pela seguinte equação:

$$\text{Faturamento com correção manual} = \alpha + \beta \text{Faturamento com Correção eletrônica} + \varepsilon \quad (1)$$

onde  $\alpha$  e  $\beta$  são parâmetros a serem estimadas por mínimos quadrados (GUJARATI, 2000), enquanto  $\varepsilon$  denota os desvios aleatórios entre as correções.

Em média os faturamentos decorrentes das correções eletrônica e manual devem ser iguais, portanto, admite-se que o desvio  $\varepsilon$  tem valor esperado nulo. Neste caso é razoável considerar que desvios negativos e positivos aconteçam com a mesma probabilidade e que grandes desvios absolutos são menos prováveis que pequenos desvios absolutos. Portanto, pode-se admitir que o desvio  $\varepsilon$  tenha distribuição normal com variância constante  $\sigma^2$ . Resumindo, admite-se que  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$  e que os desvios são não autocorrelacionados, ou seja, o desvio em um determinado mês não interfere nos desvios nos demais meses.

As hipóteses acima permitem estimar os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  por mínimos quadrados.

Porém, antes da aplicação do estimador de mínimos quadrados deve-se verificar se as séries temporais envolvidas na estimação da equação de regressão são estacionárias (GUJARATI, 2000).

A estacionariedade de uma série temporal pode ser avaliada por meio de suas funções de autocorrelação (FAC ou ACF) e autocorrelação parcial (FACP ou Partial ACF) amostrais, conforme ilustrado nas Figuras 3, 4, 5 e 6 para o caso das séries relativas ao posto de referência. Os perfis e a não significância das autocorrelações nas Figuras 3, 4, 5 e 6 indicam que essas séries são estacionárias.

Adicionalmente, na Tabela 1 são apresentados os resultados da aplicação do teste de Dickey-Fuller (GUJARATI, 2000; KLEIBER & ZEILEIS, 2008), considerando uma equação de regressão do tipo  $\Delta y_t = \theta + \delta y_{t-1} + \varepsilon_t$ , em que  $y_t$  é a série temporal avaliada,  $\varepsilon_t$  é uma componente aleatória e  $\theta$  e  $\delta$  são parâmetros a serem estimados. Os resultados apresentados na Tabela 1 foram obtidos com o auxílio do software livre Gretl (<http://gretl.sourceforge.net/>) e confirmam a hipótese de estacionariedade de ambas as séries no posto de referência.

Tabela 1. Resultados do teste de Dickey-Fuller para as séries do posto de referência

Série do faturamento com correção manual	Estatística de Dickey-Fuller = -4,2060 (Valor p = 0,00403)
Série do faturamento com correção eletrônica	Estatística de Dickey-Fuller = -3,6384 (Valor p = 0,01379)

Portanto, uma boa estimativa da equação de regressão (1) pode ser alcançada pela aplicação do estimador de mínimos quadrados aos valores das séries temporais obtidas no posto de referência (Figura 2). Os resultados desta estimação, obtidos com o auxílio do programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011), são apresentados na Tabela 2.



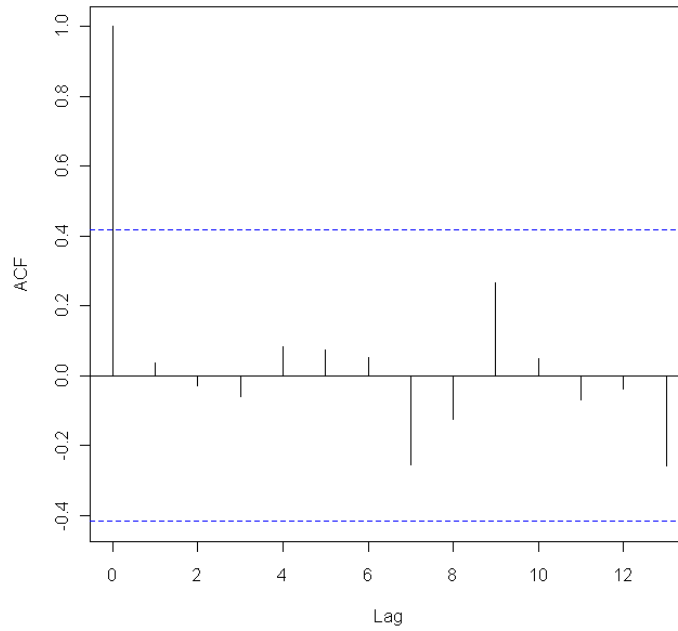


Figura 3 FAC do faturamento mensal com correção manual no posto de referência

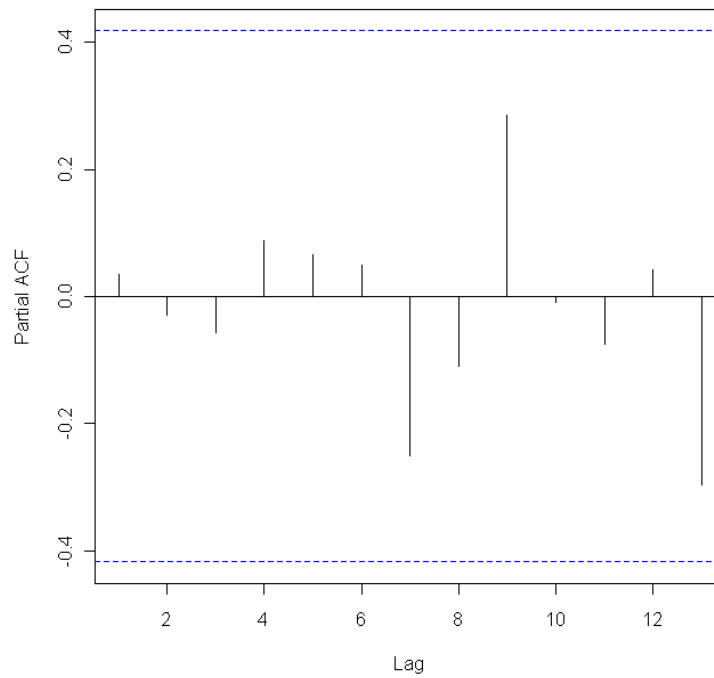


Figura 4. FACP do faturamento mensal com correção manual no posto de referência

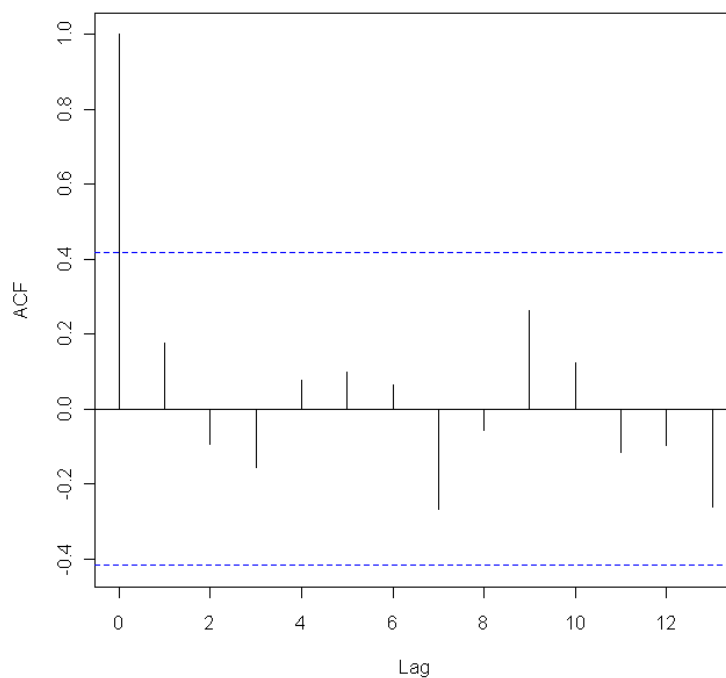


Figura 5. FAF do faturamento mensal com correção eletrônica no posto de referência

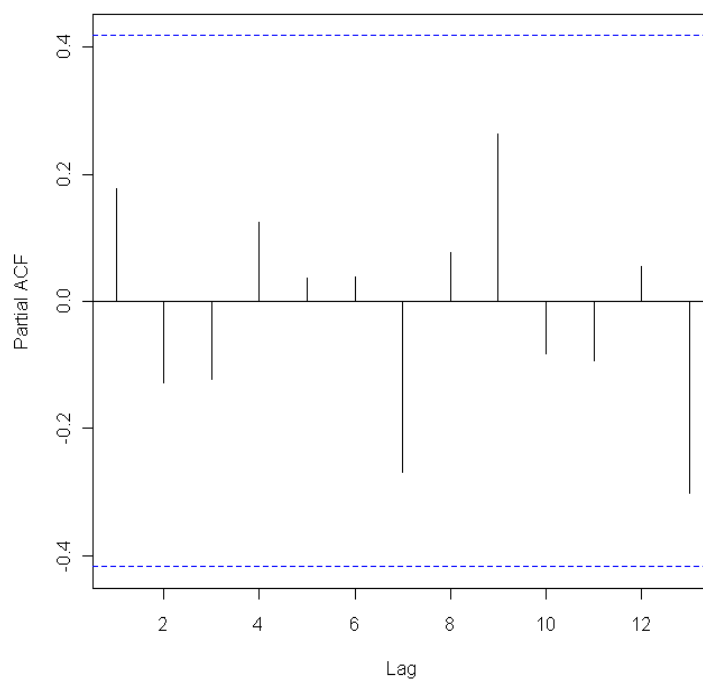


Figura 6. FACP do faturamento mensal com correção eletrônica no posto de referência

Na Tabela 2, a estatística F e o respectivo valor p indicam que a equação de regressão é significativa. Adicionalmente, a não significância da estatística de Durbin-Watson (GUJARATI, 2000) e os perfis da FAF e da FACP dos resíduos da estimação na

Figura 7 e 8 respectivamente indicam que os erros não são autocorrelacionados. Portanto, as estimativas pontuais e intervalares obtidas por mínimos quadrados ordinários são adequadas. Caso a estatística de Durbin-Watson seja significativa deve-se considerar o estimador de mínimos quadrados generalizados (GUJARATI, 2000).

A partir dos intervalos de confiança apresentados na Tabela 2 pode-se aceitar que  $\alpha=0$  e  $\beta=1$ , ou seja, no posto de referência o faturamento com correção manual é igual ao faturamento com correção eletrônica mais um erro. A qualidade do ajuste da equação de regressão descrito na Tabela 2 pode ser visualizada na Figura 9.

Tabela 2. Resultados da estimação por mínimos quadrados ordinários

Coefficiente de regressão	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Valor p
$\alpha$	1.318,43	5.469,44	0.2411	0.812
$\beta$	0,9583	0,0528	18.1539	6.8e-14
Estatística F			329,563 (Valor p = 6,8E-14)	
Estatística de Durbin-Watson			2,3497 (Valor p = 0,7857)	
Coeficiente de determinação R <sup>2</sup>			0.9428	
Desvio padrão dos resíduos			2.827	
Intervalo de confiança para $\alpha$			$-10.091,61 \leq \alpha \leq 12.727,48$	
Intervalo de confiança para $\beta$			$0,8482 \leq \beta \leq 1,0684$	

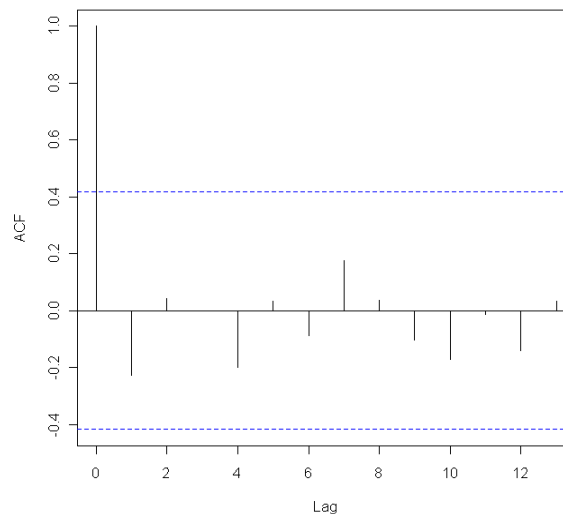


Figura 7. FAC dos resíduos da estimação por mínimos quadrados

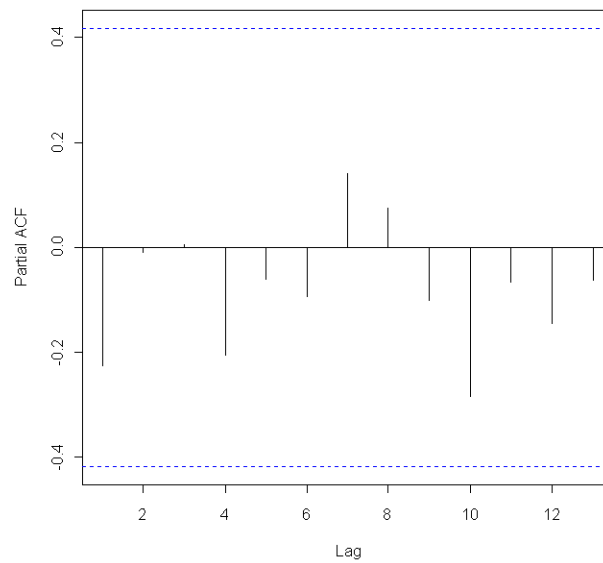


Figura 8. FACP dos resíduos da estimação por mínimos quadrados

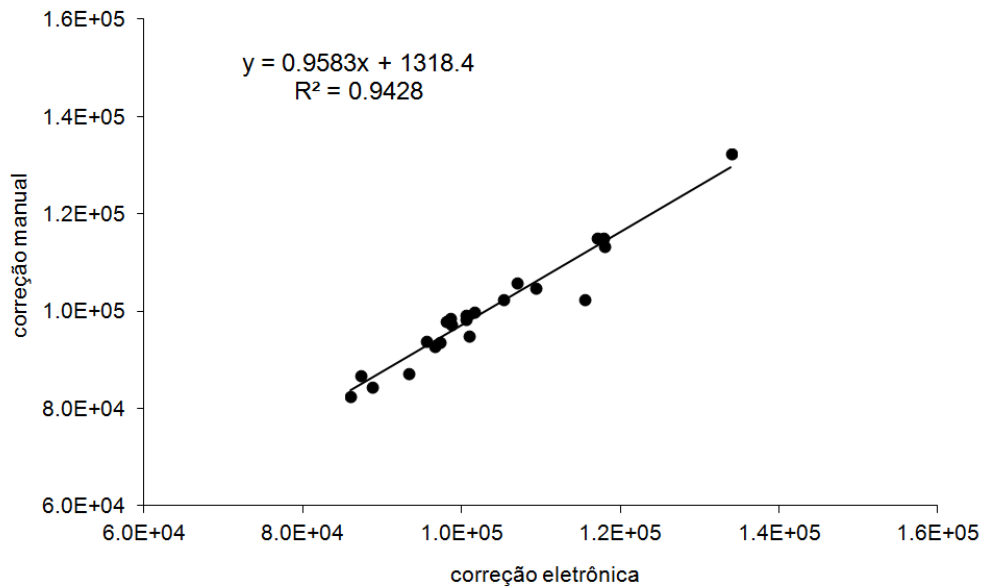


Figura 9. Reta de regressão ajustada

Ao redor da reta de regressão podem ser traçados os limites do intervalo de predição (MANDEL, 1969; GUJARATI, 2000; KLEIBER & ZEILEIS, 2008) com 99% de confiança de conter o valor do faturamento mensal com correção manual para um dado faturamento mensal obtido a partir de medições com correção eletrônica.

Os limites do intervalo com 99% de confiança para o faturamento com correção manual, dado um nível  $X_i$  de faturamento com correção eletrônica, são definidos por:

$$(\hat{\alpha} + \hat{\beta}X_h) \pm t_{n-2}(0,5\%) \cdot \sqrt{\frac{SQRes}{n-2} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_h - \bar{X})^2}{\sum_{mês=1}^n (X_{mês} - \bar{X})^2} \right]} \quad (2)$$

onde  $X_{mês}$ ,  $mês=1,n$ , corresponde ao faturamento mensal calculado com base na correção eletrônica nos  $n$  meses considerados na estimação por mínimos quadrados da equação de regressão em (1),  $\bar{X}$  é a média do faturamento mensal com correção eletrônica,  $\hat{\alpha}$  e  $\hat{\beta}$  são as estimativas de mínimos quadrados,  $SQRes$  é a soma dos quadrados dos resíduos subjacente ao modelo de regressão estimado e  $t_{n-2}(0,5\%)$  é o quantil de probabilidade 0,5% da distribuição t de Student com  $n-2$  graus de liberdade.

Os limites dos intervalos de confiança estabelecem a região em que os desvios entre os faturamentos com correção manual e com correção eletrônica são considerados normais.

O desvio entre faturamentos é considerado extraordinário ou significativo se o faturamento resultante da correção manual estiver fora dos limites de confiança definidos para o valor do faturamento com correção eletrônica. Assim, conforme ilustrado na Figura 10, os intervalos de confiança fornecem uma carta de controle que permite classificar os desvios em duas categorias: normais ou extraordinários.

Os desvios normais correspondem às variações aleatórias entre os faturamentos resultantes das correções manuais e eletrônicas, enquanto os desvios extraordinários são ocasionados por problemas na calibração do medidor ou do corretor ou outras interferências externas.

Inserindo os faturamentos mensais no posto avaliado (Figura 1) na carta de controle, os faturamentos com correção manual discrepantes dos faturamentos com correção eletrônica são aquelas localizadas fora da região definida pelos intervalos de confiança

(JACOBI et al, 2002), conforme ilustrado na Figura 11. Os desvios correspondentes deverão ser alvos de inspeções realizadas pela distribuidora de gás para identificar as suas causas. As medições discrepantes identificadas na Figura 11 correspondem aos registros indicados na Figura 12, onde são exibidas as séries de faturamentos mensais no posto avaliado.

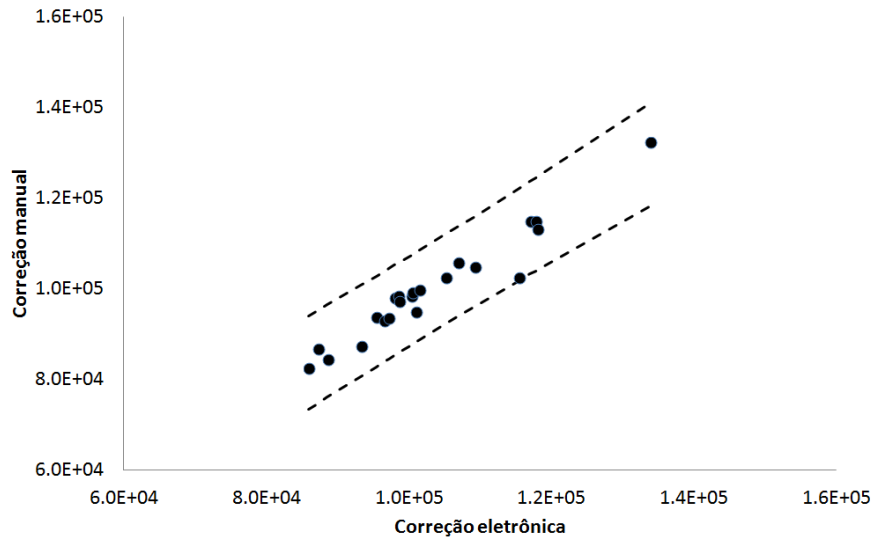


Figura 10. Intervalos de confiança

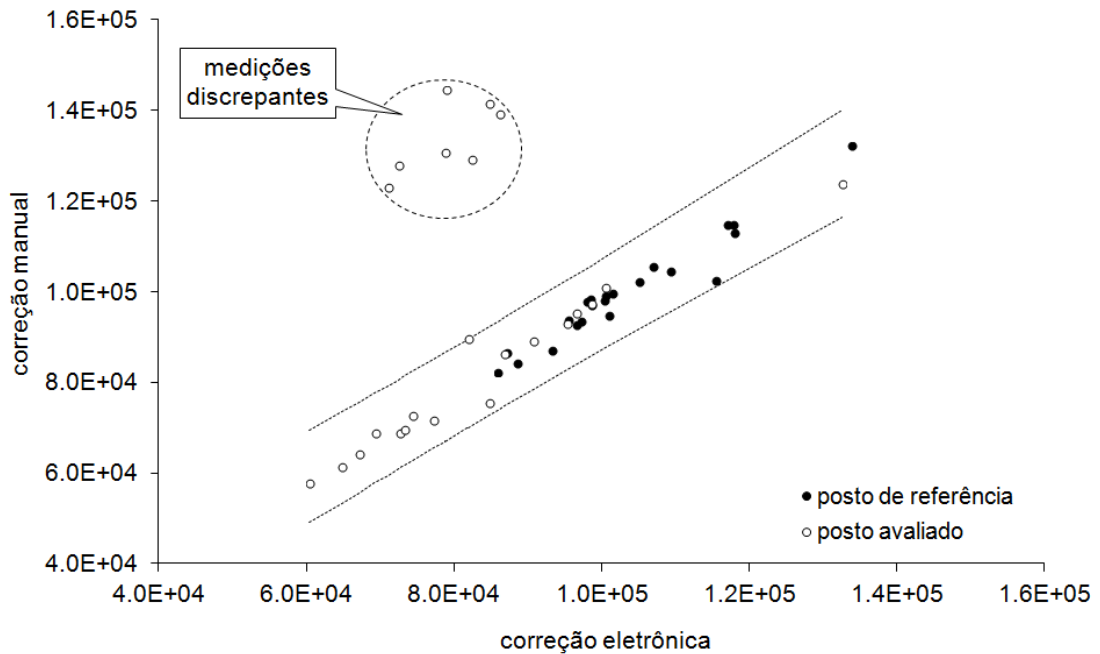


Figura 11. Medições discrepantes no posto avaliado

## PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

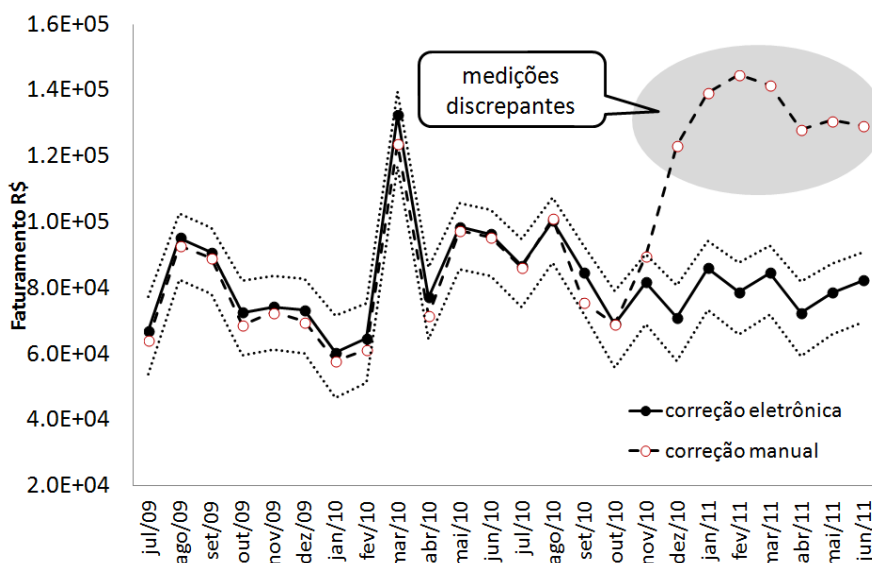


Figura 12. Faturamentos decorrentes de correções manuais discrepantes

A aplicação de métodos estatísticos aos registros de faturamento mensal sugere que as medições com correção manual e com correção eletrônica no posto avaliado apresentam discrepâncias significativas com variações maiores do que as variações normais nos meses de dezembro/2010, janeiro/2011, fevereiro/2011, março/2011, abril/2011, maio/2011 e junho/2011, totalizando um desvio acumulado da ordem de R\$ 382.718,91 no faturamento ao longo do período. Cabe à distribuidora verificar as causas das discrepâncias encontradas entre as medições corrigidas manualmente e eletronicamente no posto avaliado.

Em resumo, para avaliar a significância dos desvios entre os faturamentos decorrentes de medições com correção manual e com correção eletrônica em um determinado posto propõe-se a seguinte metodologia:

- (1) Identifique um posto de referência (benchmark), localizado na mesma região geográfica e na mesma linha de distribuição de gás do posto avaliado. Os medidores instalados no posto de referência devem estar corretamente calibrados, de tal forma

que os faturamentos mensais resultantes da correção manual e da correção eletrônica não apresentem discrepâncias significativas.

- (2) Estime a equação de regressão em (1) a partir das séries de faturamentos mensais coletadas no posto de referência. Use o estimador de mínimos quadrados ordinários ou o estimador de mínimos quadrados generalizados, caso a análise dos resíduos indique a autocorrelação serial do erro da equação de regressão.
- (3) Posicione as medições provenientes do posto de referência no diagrama de dispersão do faturamento com correção manual contra o faturamento com correção eletrônica (Figura 9). Cada ponto do diagrama corresponde a um mês.
- (4) Adicione os intervalos de predição em (2) ao diagrama de dispersão para obter a carta de controle (Figura 10).
- (5) Posicione as medições provenientes do posto avaliado no diagrama de dispersão (Figura 11). Cada par de medições em uma mesma data define um ponto no diagrama.
- (6) Verifique se há pontos fora dos intervalos de predição (Figura 11).
- (7) Os desvios significativos entre os faturamentos correspondem aos pontos situados fora da região definida pelos limites dos intervalos de predição (Figuras 11 e 12).

### **3. Resultados da aplicação da metodologia proposta**

Visando agilizar o processamento de dados, a metodologia proposta foi implementada em uma planilha eletrônica (MS Excel) que serve de interface para uma biblioteca de rotinas estatísticas disponibilizadas no programa R, um software livre e altamente extensível que favorece o ensino das técnicas de controle estatístico de processos (LEONI & COSTA, 2012). A seguir, na Figura 13 é ilustrada a tela inicial da planilha, onde são disponibilizados vários botões que permitem acessar as funções do programa. A planilha conta com um



banco de dados onde estão cadastrados os postos avaliados e os respectivos postos de referência.

Na sequência, nas Figuras 14, 15, 16 e 17 são ilustrados os resultados obtidos pela aplicação da metodologia proposta na análise dos faturamentos com correção eletrônica e com correção manual de outros quatro postos selecionados. Para cada posto avaliado foi identificado um posto de referência, a partir do qual foi construída uma carta de controle que permitiu identificar as observações discrepantes. Nos quatro casos analisados as séries de faturamento dos postos de referência são estacionárias e a estimação da equação de regressão em (1) foi realizada por mínimos quadrados ordinários.

No primeiro dos quatro postos avaliados (Figuras 14a e 14b), os faturamentos com correção manual e eletrônica são discrepantes na maior parte do período analisado. Neste caso, os desvios acumulados no período considerado fora do controle estatístico alcançam o montante de R\$ 1.407.798,20. Por sua vez, no segundo posto analisado (Figuras 15a e 15b), a discrepância entre os faturamentos aparece apenas no último mês do período analisado e corresponde a um desvio da ordem de R\$ 29.747,18. Por fim, conforme ilustrado nas Figuras 16a, 16b, 17a e 17b, nos demais postos avaliados as discrepâncias aparecem no final do período analisado. Nos casos ilustrados nas Figuras 16 e 17, os valores acumulados dos desvios significativos alcançam, respectivamente, R\$ 305.161,37 e R\$ 361.814,26 em oito meses.

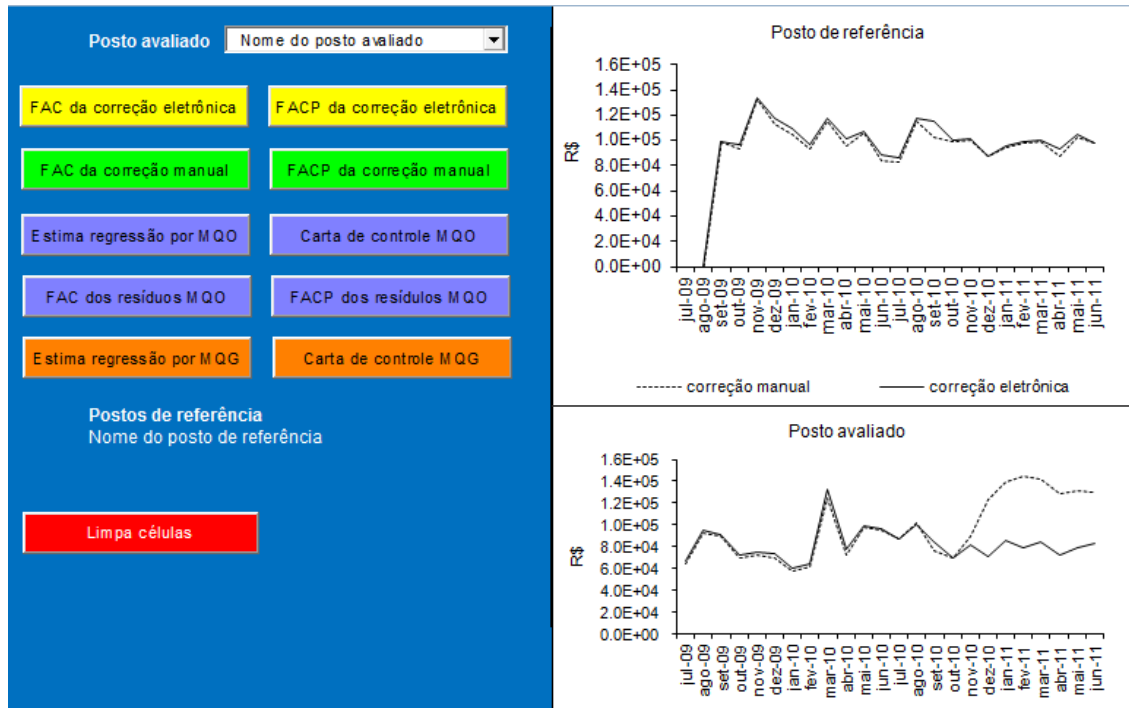


Figura 13. Tela inicial da planilha eletrônica para construção da carta de controle

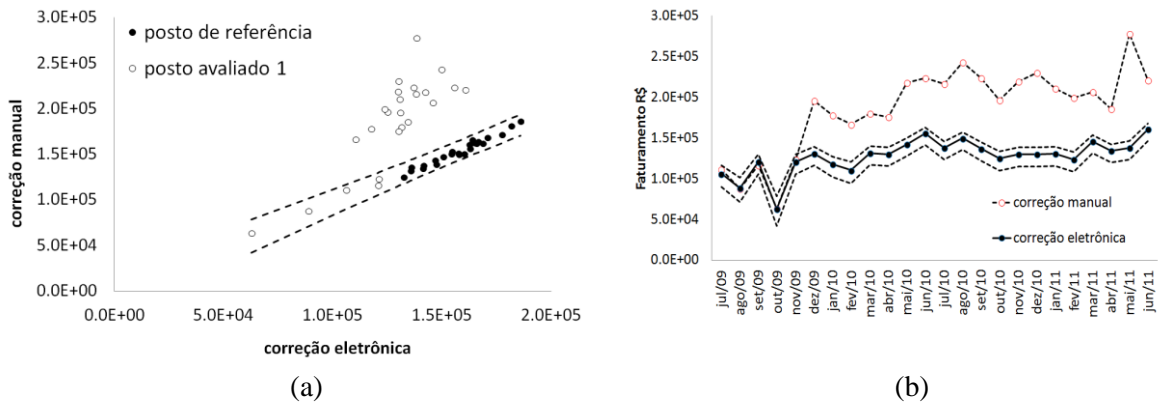


Figura 14. Resultados da aplicação da metodologia proposta no primeiro posto avaliado

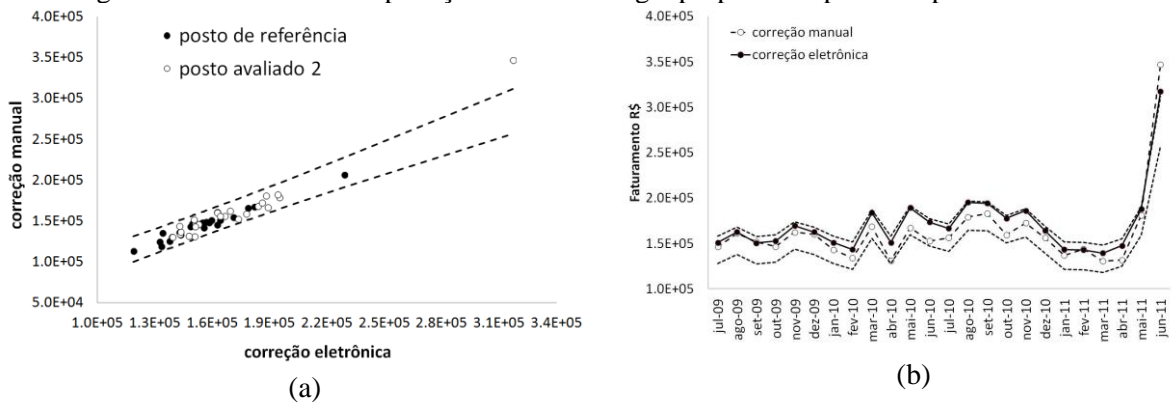


Figura 15. Resultados da aplicação da metodologia proposta no segundo posto avaliado

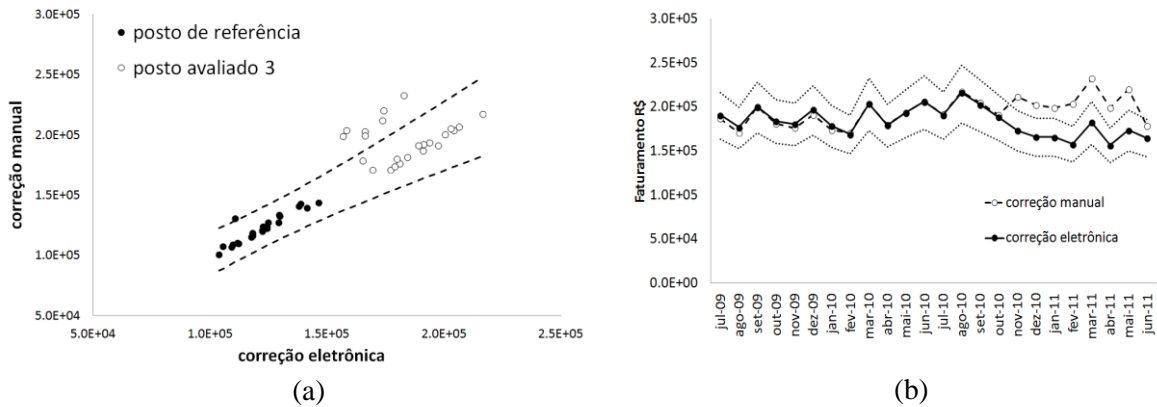


Figura 16. Resultados da aplicação da metodologia proposta no terceiro posto avaliado

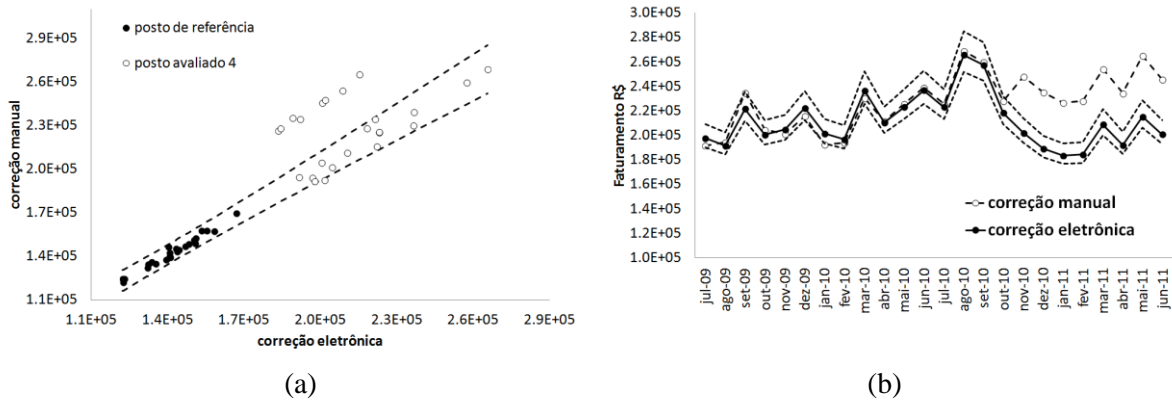


Figura 17. Resultados da aplicação da metodologia proposta no quarto posto avaliado

#### 4. Conclusões

No presente artigo foi descrita uma metodologia estatística para avaliação da significância dos desvios entre os faturamentos com correção eletrônica de vazão e os faturamentos com correção manual por cálculo das variáveis temperatura ( $t$ ), pressão ( $p$ ) e compressibilidade ( $z$ ) dos medidores de gás, tipo rotativo, instalados em postos de distribuição de GNV.

A metodologia proposta fornece uma maneira objetiva e científica de separar as discrepâncias normais das discrepâncias extraordinárias entre os faturamentos com correções manuais e eletrônicas, uma informação que contribui para a maior eficácia das fiscalizações conduzidas por uma empresa distribuidora de gás. Nos casos analisados os desvios nos faturamentos variaram de R\$ 29.747,18 até R\$ 1.407.798,20.

A metodologia é útil na construção de um sistema para o monitoramento dos postos de distribuição de GNV, cuja finalidade consiste em detectar os desvios entre as medições

com correção eletrônica de vazão e as medições com correção manual, permitindo que a distribuidora de gás tome as medidas corretivas de forma proativa e em tempo oportuno, facilitando as ações de controle e fiscalização.

### Referências

- Albertazzi, A.; Sousa, A.R. (2008). Fundamentos de metrologia científica e industrial, Editora Manole, Barueri.
- Costa, A.F.B.; Epprecht, E.K.; Carpinelli, L.C.R. (2005). Controle estatístico de qualidade, 2ª edição, Editora Atlas, São Paulo.
- Gujarati, D.N. (2000). Econometria básica, 3ª edição, Pearson Makron Books, São Paulo.
- Haworth, D.A. (1996). Regression control chart to manage software maintenance, *Journal of Software Maintenance*, v. 8, n.1, pp. 35-48.
- Jacobi, L.F.; Souza, A.M.; Pereira, J.E.S. (2002). Gráfico de controle de regressão aplicado na monitoração de processos, *Produção*, v. 12, n.1, pp. 46-59, 2002.
- Jensen, W.A.; Birch, J.B. (2009). Profile monitoring via nonlinear mixed models. *Journal of Quality Technology*, v. 41, n.1, pp. 18-34.
- Kleiber, C. & Zeileis, A. (2008). *Applied econometrics with R*, Springer.
- Leoni, R.C.; Costa, A.F.B. (2012). O ambiente R como proposta de apoio ao ensino no monitoramento de processos, *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, Rio de Janeiro, v.4, n.1, pp. 83-96,
- Mandel, B.J. (1969). The regression control chart, *Journal of Quality Technology*, v.1., n.1., january, pp.1-9
- Ozkul, B.; Karaoglan, A.D. (2011). Regression control chart for determination of Young's modulus: a case study, *Scientific Research and Essays*, v.6 (30), pp. 6393-6403, 9 December, 2011.
- Pedrini, D.C.; Caten, C.S. (2008). Comparação entre gráficos de controle para resíduos de modelos, *GEPROS - Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, ano 3, nº 4, pp. 123-140.
- Pedrini, D.C.; Caten, C.S. (2011). Método para aplicação de gráficos de controle de regressão no monitoramento de processos, *Produção*, v. 22, n. 1, pp. 106-117.
- R Development Core Team (2011). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Rashid, N.A.; Ab Ghani, I.; Mehad, S. (2010). Control Charts Based on Regressuion Adjustment, In: *Proceedings of the Regional Conference on Statistical Science*.

## PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Sant'Anna, A.M.O.; Caten, C.S.; Marcondes Filho, D. (2010). Carta de controle baseada em modelos beta por componentes principais para o monitoramento de processos, In: XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Bento Gonçalves.

Suriano, S.; Wang, H.; Hu, S.J. (2012). Monitoring of Manufacturing Process Conditions with Baseline Changes Using Generalized Regression, In: Proceedings of the 10th International Conference on Frontiers of Design and Manufacturing.

Wei, Y.; Zhao, Z.; Lin, D.K.J. (2012). Profile control charts based on nonparametric L-1 regression methods, The Annals of Applied Statistics, v. 6, n. 1, pp. 409-427.

Williams, J.D.; Woodall, W.H.; Birch, J.B. (2007). Statistical monitoring of nonlinear product and process quality profiles. Qual. Reliab. Eng. Int. 23, pp. 925-941.

Zou, C.; Qiu, P.; Hawkins, D. (2009). Nonparametric control chart for monitoring profiles using change point formulation and adaptative smoothing, Statistica Sinica, 19, pp. 1337-1357.