



UTILIZAÇÃO DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACADÊMICO

USE OF STATISTICAL PROCESS CONTROL IN EVALUATION OF ACADEMIC PERFORMANCE

Ezequiel Gibbon Gautério* E-mail: ezequielgaut@hotmail.com
Viviane Leite Dias de Mattos* E-mail: viviane.leite.mattos@gmail.com
Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, RS.

Resumo: O objetivo deste estudo foi investigar alguns indicadores do desempenho acadêmico (quantidade de estudantes por turma, taxa de evasão, taxa de reprovação e notas obtidas pelos estudantes) para tentar identificar um padrão de comportamento que possibilitasse implementar melhorias no processo de ensino-aprendizagem. A amostra investigada foi composta por cinco turmas, oferecidas a cursos de graduação em Engenharia, as quais foram acompanhadas por três anos. Inicialmente foi realizada uma análise exploratória com técnicas analíticas e gráficas. Uma análise de variância complementada com o teste de Tukey investigou algumas fontes de variabilidade, fornecendo subsídios para a construção dos gráficos de controle. Encontraram-se evidências de que turmas com maior quantidade de estudantes estão associadas a maiores taxas de reprovação e a médias mais baixas e de que cursos que têm a disciplina mais tarde na estrutura curricular obtiveram médias mais altas. Os resultados encontrados mostraram que, embora tenham sido detectadas algumas causas especiais interferindo no processo, foi possível estabilizá-lo para que fosse monitorado.

Palavras Chave: Qualidade. Gráficos de Controle. Otimização de Processos. Desempenho Acadêmico.

Abstract: The aim of this article was to study some indicators of academic performance (number of students per class, dropout rate, failure rate and scores obtained by the students) to identify a pattern of behavior that would enable to implement improvements in the teaching-learning process. The sample was composed of five classes of undergraduate courses in Engineering. The data were collected for three years. Initially an exploratory analysis with analytical and graphical techniques was performed. An analysis of variance and Tukey's test investigated some sources of variability. This information was used in the construction of control charts. We have found evidence that classes with more students are associated with higher failure rates and lower mean. Moreover, when the course was later in the curriculum, the students had higher scores. The results showed that although they have been detected some special causes interfering in the process, it was possible to stabilize it and to monitor it.

Keywords: Quality. Charts Control. Process Optimization. Academic Performance.

1 INTRODUÇÃO

O Controle Estatístico de Processos (CEP) tem sido estudado por muitos pesquisadores, alguns dos quais citados ao longo do presente texto, sendo

amplamente utilizado em processos industriais, principalmente por possibilitar o monitoramento do desempenho desses processos em tempo real. De acordo com Woodall (2000), o CEP consiste em técnicas para entender, monitorar e melhorar o desempenho de processos no decorrer do tempo. Para Montgomery (2004), essas técnicas contribuem para a melhoria da produtividade e prevenção de defeitos, além de evitar perda de tempo e dinheiro com ajustes desnecessários. Também são capazes de fornecer informações confiáveis para diagnóstico de desempenho e capacidade de processos.

Várias aplicações industriais já foram relatadas utilizando técnicas distintas, como em: Seidel et al. (2011); Silveira e Werner (2011); Shu e Wu (2011); Chih, Yeh e Li (2011); Engin (2008); Souza et al. (2008); Souza, Domingos Filho e Samohyl (2007); Marins, Oliveira e Freitas (2006) e Paese, Caten e Ribeiro (2001), entre outros. O CEP também tem sido utilizado em ambientes não industriais, como em Sulek, Maruchek e Lind (2006), embora não sejam encontradas na literatura tantas aplicações como na área industrial. De acordo com Montgomery (2004), as aplicações não industriais requerem mais criatividade, o que ocorreria por duas principais razões: a maioria das operações não industriais não tem um sistema de medida que permite ao analista definir qualidade com facilidade, e o sistema a ser melhorado não é tão claro como no ambiente industrial.

Poucas aplicações são encontradas na área educacional, como em Silva, Duarte e Mano (2012). Aplicar técnicas do CEP nessa área pode ser bastante pertinente por possibilitar mudanças nas estratégias administrativo-pedagógicas adotadas em função de um monitoramento em tempo real. Tais estratégias poderiam ser especialmente úteis aos educadores para a implementação de suas ações pedagógicas, colaborando para a diminuição da repetência e da evasão.

Esse estudo apresenta uma proposta de utilização de gráficos de controle para diagnóstico e monitoramento do desempenho acadêmico em uma disciplina anual oferecida a cursos de Engenharia em uma Instituição de Ensino Superior, além de fazer uma avaliação do desempenho dos tradicionais gráficos de controle para média e desvio padrão e daqueles aplicados a processos com fluxos múltiplos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

É sabido que não se podem produzir dois itens exatamente iguais. A variabilidade existente em um processo pode ser extremamente pequena e despercebida, dando a falsa impressão de que os itens são iguais, mas ela está sempre presente em qualquer processo produtivo, podendo apresentar duas fontes: causas comuns ou causas especiais.

As causas comuns são várias pequenas ocorrências que atuam sobre um processo de forma aleatória, apresentando um comportamento natural e previsível. Nesse caso, as características de qualidade analisadas formam um padrão e podem ser descritas e estudadas por meio de uma distribuição de probabilidade. Quando essa distribuição é constante ao longo do tempo, o processo é considerado sobre controle estatístico. Por outro lado, as causas especiais não são pequenas e não seguem um padrão aleatório: elas provocam alterações significativas no processo, sendo imprevisíveis. Quando isso ocorre, o processo é considerado fora de controle estatístico e, para identificá-las podem ser utilizados os gráficos de controle.

De maneira geral, esses gráficos utilizam um valor central e dois limites de controle: um superior e outro inferior, aceitáveis para variações devido a causas comuns e fixados para uma variação de ± 3 erros padrões em torno do valor médio (central). Esses limites são determinados a partir dos parâmetros de uma distribuição amostral e, na maioria dos casos, são desconhecidos e precisam ser estimados. Maiores detalhes podem ser encontrados em Montgomery (2004) e Samohyl (2009).

É importante salientar que, de acordo com Costa, Epprecht e Carpinetti (2011), antes de construí-los, é necessário identificar e eliminar as causas especiais que estão fazendo o processo sair do estado de controle estatístico, pois observações extraídas do processo durante um período de instabilidade não são apropriadas para a construção de gráficos de controle. Woodall (2000) salienta que é muito importante distinguir entre o uso dos gráficos de controle sobre dados históricos para determinar se o processo está ou não sob controle estatístico, e o uso em amostras retiradas sequencialmente no decorrer do tempo para detectar alterações em um processo.

Vários tipos de gráficos de controle já foram desenvolvidos e aperfeiçoados e todos precisam definir alguns parâmetros, tais como: tamanho da amostra; intervalo de tempo entre amostras consecutivas; centralização e limites de controle. A escolha dos gráficos a serem utilizados na investigação de um processo (normalmente um para a tendência central e outro para a variabilidade) depende, inicialmente, da forma de medição das características de qualidade a serem monitoradas.

Existem os tradicionais gráficos de *Shewhart*: \bar{X} (média aritmética), R (amplitude) e S (desvio-padrão), além dos gráficos para valores individuais, usados para investigar variáveis mensuradas quantitativamente. Existem também os gráficos p (proporção de unidades defeituosas), np (quantidade de unidades defeituosas em amostras de tamanho n), c (quantidade de defeitos por unidade de amostras de tamanho n) e u (quantidade de defeitos por unidade de amostras de tamanho variável) para investigar variáveis mensuradas qualitativamente (conforme/não conforme).

Além desses, são bastante utilizados os gráficos para a soma acumulada, que se caracterizam por identificar facilmente pequenas mudanças na média, muito embora padrões sejam difíceis de serem identificados e, ainda, os gráficos para médias móveis exponencialmente ponderadas ou apenas médias móveis, que utilizam médias das médias amostrais, calculadas para períodos pré-estabelecidos, sendo também eficientes para detectar pequenas mudanças na média.

É possível utilizar escores padronizados em alguns dos gráficos supracitados, assim como considerá-los sob o enfoque de fluxo múltiplo. Além disso, podem ser construídos gráficos de controle que analisem o comportamento de diferentes variáveis simultaneamente. Entretanto, esses são difíceis de trabalhar para mais de duas dimensões e eliminam a possibilidade de avaliação da sequência temporal. Em processos produtivos de fluxo múltiplo, o monitoramento pode ser feito em conjunto para todos os fluxos, o que reduz substancialmente o trabalho a ser executado. Nesse caso, os limites de controle são estabelecidos a partir dos dados de todos os fluxos (MONTGOMERY, 2004).

A escolha das variáveis a serem monitoradas, a adequação do tipo de gráfico e a determinação de seus parâmetros são responsáveis pela capacidade de identificação de reais alterações em um processo. De acordo com Castagliola e

Maravelakis (2011), vários pesquisadores já demonstraram que a capacidade dos gráficos de controle em sinalizar um processo fora de controle é muito afetada pelos seus parâmetros que devem ser estimados a partir de um grande conjunto de dados obtidos na fase inicial de sua implantação. Ou, Wu e Tsung (2012) também enfatizam a importância da determinação dos parâmetros destes gráficos.

Outras técnicas também podem ser muito úteis e colaborar para o bom desempenho dos gráficos de controle, auxiliando na identificação das fontes de variação de um processo, como é o caso da Análise de Variância, bem como na identificação do ajuste ótimo de seus parâmetros, como é o caso de Projeto de Experimentos e Metodologia de Superfície de Resposta. Melo, Caten e Sant'Anna (2013) evidenciam o bom desempenho dessas técnicas que permitem planejar e executar ensaios de forma eficiente, modelar o comportamento de variáveis resposta em função do ajuste dos parâmetros do processo e determinar o ajuste ótimo dos parâmetros para aprimorar as variáveis resposta, além de permitir avaliar perda de material e custo de operação.

Silveira e Werner (2011) evidenciam a importância de priorizar os processos a serem monitorados, sugerindo a utilização da função de desdobramento da qualidade para determinar quais as características do processo devem ser monitoradas, seguida de uma avaliação dos índices na Janela de Johari para identificar quais as características mais fáceis de serem inspecionadas.

A utilização de gráficos de controle é um processo dinâmico, como a maior parte das técnicas empregadas em programas de qualidade. Freitas e Morais (2012), por exemplo, chamam a atenção para esse fato evidenciando a importância de revisão periódica dos modelos de avaliação de serviços. De maneira geral, o planejamento da implantação dos gráficos de controle para avaliação e monitoramento de processos ocorre através das seguintes etapas: a) análise detalhada de todo o processo; b) seleção das características de qualidade a serem monitoradas; c) identificação dos parâmetros do processo relacionados a essas características de qualidade; d) identificação dos parâmetros do processo a serem monitorados; e) definição do modelo de gráfico a ser utilizado e determinação de seus parâmetros; f) coleta das informações para a operacionalização do modelo selecionado; g) implementação dos ajustes necessários.

Vários estudos, alguns dos quais citados a seguir, já foram desenvolvidos com o objetivo de estudar o desempenho das técnicas utilizadas na implementação de um CEP e, em sua maioria, encontraram resultados satisfatórios.

Sulek, Maruchek e Lind (2006) apresentam uma aplicação dos gráficos de controle em serviços executados em múltiplos estágios, que possuem a propriedade cascata em função do desempenho em um estágio ser estatisticamente correlacionado com o desempenho do estágio anterior. O estudo analisa o desempenho de uma metodologia (*cause selecting control chart*) para monitorar e identificar áreas com problemas potenciais em um processo real. Compara sua capacidade de diagnóstico com a de um tradicional gráfico de *Shewhart*, concluindo que é possível obter informações enganosas a partir de gráficos de controle tradicionais se o processo de serviço monitorado for um processo em cascata.

Marins, Oliveira e Freitas (2006) relatam uma aplicação do CEP numa fábrica do setor de laticínios para controle do processo de tratamento da água potável. Utilizam gráficos de controle para análise de cloro na água, identificando a necessidade de mudanças no processo de tratamento da mesma.

Souza, Domingos Filho e Samohyl (2007) apresentam um estudo de caso numa indústria de fundição, onde analisam a qualidade e a capacidade da produção de blocos para motores de caminhão, utilizando os gráficos da soma cumulativa (CUSUM) e da média móvel exponencialmente ponderada (EWMA), além do gráfico da amplitude móvel. A aplicação dessas técnicas permitiu concluir que, em relação à qualidade da produção, a empresa trabalha com um processo estável.

Morais, Sá e Lima (2010) apresentam um estudo do controle da tensão elétrica em subestações de energia. As técnicas utilizadas permitiram que os autores concluíssem que em alguns períodos do dia, a tensão encontrava-se fora de controle, mas que poderiam implementar ações corretivas específicas para melhorar os níveis de tensão.

Araújo et al. (2010) relatam uma investigação no tempo de espera no atendimento de urgência clínica de um hospital particular. Concluíram que o processo estava fora de controle, sofrendo efeitos de causas especiais. Essas causas foram analisadas por meio de diagramas de Causa-e-Efeito, possibilitando sugerir ações para correção do processo.

Seidel et al. (2011) apresentam um estudo com a utilização de gráficos de controle e análise fatorial para avaliar a qualidade de uma matéria-prima com base em especificações físico-químicas e classificar os fornecedores de leite de uma indústria de laticínios. Foram identificados alguns problemas na qualidade do produto decorrentes do plano de coleta do material e fraudes por adição de água, entre outros, sugerindo a necessidade de estabelecimento de uma política de relacionamento com os fornecedores.

3 METODOLOGIA

O presente estudo analisa o processo de ensino-aprendizagem dos estudantes em uma disciplina presencial oferecida a diferentes habilitações de cursos de Engenharia. Trata-se de uma disciplina anual oferecida no segundo ou terceiro ano dos cursos de graduação, com três horas/aula por semana, totalizando 108 horas/aula. Para ser aprovado o estudante deve obter média aritmética simples pelo menos igual a sete entre quatro avaliações bimestrais, além de alcançar pelo menos 75% de frequência. Se não obtiver aprovação, o estudante poderá realizar um exame, no qual deve obter média aritmética ponderada pelo menos igual a cinco, calculada entre a nota do exame e a média das avaliações nos quatro bimestres, com pesos respectivamente iguais a quatro e seis.

Para o triênio 2009-2011 foram escolhidas turmas oferecidas a cinco cursos que são identificados por A, B, C, D e E, totalizando quinze turmas. Inicialmente, foram obtidas no sistema de informações acadêmicas da universidade as notas dos estudantes da amostra pesquisada, sendo definidos alguns indicadores de desempenho para o processo de ensino/aprendizagem, tais como: a média e o desvio padrão das notas dos estudantes, a quantidade de estudantes e as taxas de evasão e de reprovação por turma.

Posteriormente, foi realizado um estudo exploratório sendo analisadas algumas propriedades técnicas das distribuições dos dados (forma, tendência central, dispersão, lacunas e *outliers*). O Coeficiente de Correlação de Pearson possibilitou avaliar a correlação entre essas variáveis. Após, foram investigadas algumas fontes de variabilidade das notas dos estudantes: curso, ano, bimestre e

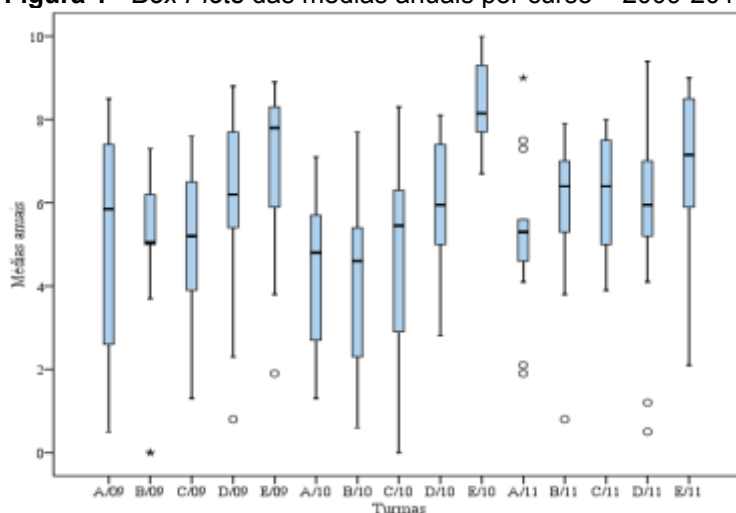
professor, por meio da Análise de Variância complementada com uma avaliação dos resíduos e com o teste de comparações múltiplas de *Tukey*. Essas análises forneceram subsídios para a construção dos gráficos de controle. Primeiro foram usados gráficos para analisar tendência central e variabilidade sob a ótica de processo de fluxo múltiplo e, em seguida, foram construídos gráficos para examinar estas mesmas propriedades por curso.

4 RESULTADOS

4.1 Análise exploratória

A análise gráfica das médias anuais dos estudantes por turma, utilizando histogramas, gráficos de probabilidade normal e *box plots*, esses últimos representados na figura 1, mostrou que não existem indicativos de não normalidade acentuada na maioria das turmas. As informações contidas nessa figura evidenciam que uma das turmas apresentou um comportamento diferenciado em relação à presença de *outliers*, resultando em três superiores e dois inferiores. Em outras cinco turmas foram encontrados *outliers* inferiores.

Figura 1 - Box Plots das médias anuais por curso – 2009-2011



Fonte: Análise de dados.

OBS: * e ° representam *outlier*.

As turmas eram compostas por no mínimo 18 e no máximo 72 estudantes, com médias finais entre 4,51 e 7,92 e desvio padrão variando entre 1,17 e 2,44,

conforme apresentado na tabela 1. As informações dessa tabela mostram uma grande variabilidade na quantidade de alunos/turma, entre as médias finais/turma e também entre as médias individuais/turma.

Tabela 1 - Medidas Descritivas dos indicadores de desempenho do processo de ensino/aprendizagem - 2009-2011

Ano	Medidas	Curso					Geral
		A	B	C	D	E	
2009	Estudantes	56	49	51	40	27	223
	Evasão (es)	6	8	2	3	-	19
	Taxa evasão (%)	10,7	16,3	3,9	7,5	-	8,5
	Reprovação (es)	8	7	8	2	2	27
	Taxa reprov. (%)	14,3	14,3	15,7	5,0	7,4	12,1
	Média	6,38	5,76	6,26	6,45	6,90	6,29
	Desvio padrão	2,14	1,90	2,03	1,61	1,76	1,93
2010	Estudantes	72	63	52	26	27	240
	Evasão (es)	10	8	6	11	4	39
	Taxa evasão (%)	13,9	12,7	11,5	42,3	14,8	16,3
	Reprovação (es)	13	26	7	3	-	49
	Taxa reprov. (%)	18,1	41,3	13,5	11,5	-	20,4
	Média	6,13	4,51	6,58	5,85	7,92	5,97
	Desvio padrão	1,93	2,32	1,76	1,67	1,17	1,91
2011	Estudantes	70	68	35	38	18	229
	Evasão (es)	11	13	2	9	4	39
	Taxa evasão (%)	15,7	19,1	5,7	23,7	22,2	17,0
	Reprovação (es)	18	9	4	7	2	40
	Taxa reprov. (%)	25,7	13,2	11,4	18,4	11,1	17,5
	Média	5,66	6,10	6,89	5,59	6,91	6,07
	Desvio padrão	1,89	2,07	1,45	2,44	1,87	1,99

Fonte: análise de dados.

OBS: (es) significa quantidade de estudantes; a média e o desvio padrão se referem à média das médias finais obtidas pelos estudantes.

Uma análise similar foi desenvolvida com as taxas de evasão e reprovação, não sendo encontrados indicativos de não normalidade acentuada. A taxa de evasão variou entre 0,0% e 42,3%, concentrando-se em torno da média de 14,54% com desvio padrão de 9,28%, sendo a taxa de 42,3% considerada um *outlier*. A taxa de reprovação variou entre 0,0% e 41,3%, concentrando-se em torno da média de 15,05% com desvio padrão de 8,79%, sendo a taxa de 41,3% considerada *outlier* superior e a taxa de 0,0%, *outlier* inferior. Salienta-se que quase todos os *outliers* dessas variáveis, tanto inferiores como superiores, ocorreram em um mesmo ano (2010).

A análise complementar por meio do coeficiente de correlação linear de Pearson avaliou a associação entre essas quatro variáveis. Os resultados,

apresentados na tabela 2, mostram evidências da existência de correlação positiva entre taxa de reprovação e quantidade de estudantes/turma e entre taxa de reprovação e desvio-padrão da turma. Também foi encontrada uma correlação negativa entre a quantidade de estudantes/turma e média da turma; entre taxa de reprovação e média e entre média e desvio padrão da turma. Isso significa que turmas com maior quantidade de estudantes estão associadas a maiores taxas de reprovação e a médias mais baixas. Maiores taxas de reprovação também estão associadas a menores médias e maiores desvios padrão. Entretanto, a análise desenvolvida não determina uma relação de causa-efeito.

Tabela 2 - Coeficientes de correlação entre os indicadores de desempenho do processo de ensino/aprendizagem - 2009-2011

	Estudantes	Evasão	Reprovação	Media	Desvio padrão
Estudantes	1				
Evasão	-0,184	1			
Reprovação	0,606*	0,049	1		
Media	-0,553*	-0,262	-0,873*	1	
Desvio padrão	0,477	0,095	0,699*	-0,766*	1

Fonte: Análise de dados.

Obs: As correlações significativas estão assinaladas com *.

4.2 Avaliação de algumas fontes de variabilidade

Inicialmente, uma análise de variância com dados repetidos foi utilizada para avaliar a influência das variáveis: curso, ano e bimestre. A variável curso foi considerada como uma variável independente com cinco níveis (A-B-C-D-E) e o mesmo acontecendo com a variável ano que considerou três níveis (2009-2010-2011). As notas obtidas em cada um dos quatro bimestres foram consideradas como medidas repetidas.

A pesquisa envolveu 2380 dados e foi complementada com uma análise residual realizada com o objetivo de verificar as suposições do modelo utilizado: normalidade, homocedasticidade e independência dos resíduos, considerando-o razoável. Ao serem encontradas evidências de diferenças, um teste para comparações múltiplas (teste de *Tukey*) foi utilizado com o objetivo de localizá-las.

Os resultados encontrados são apresentados na tabela 3, na qual foram encontradas evidências de que a variável curso tem efeito sobre a nota obtida pelo estudante (figura 2). O teste de *Tukey*, utilizando nível de significância 5%, identificou três grupos entre os cursos: o grupo com médias mais baixas é formado pelos estudantes dos cursos B e D; o segundo grupo é formado pelos estudantes dos cursos A, C e D e o grupo com média mais alta é formado pelos estudantes do curso E. Salienta-se que no curso E a disciplina em estudo está localizada no terceiro ano, enquanto que nos demais cursos no segundo ano, mostrando que o melhor desempenho dos estudantes está relacionado a um maior conhecimento anterior e maior maturidade.

Tabela 3 - Resultados da Análise de Variância para as notas dos estudantes

Fonte de variação	SQ	GI	MQ	F	valor p
Ano	20,7	2	10,4	0,88	0,416
Curso	594,9	4	148,7	12,61	< 0,0001
Ano x Curso	338,4	8	42,3	3,59	< 0,0001
Bimestre	425,3	3	141,8	41,89	< 0,0001
Bim x Ano	158,8	6	26,5	7,82	< 0,0001
Bim x Curso	928,7	12	77,4	22,86	< 0,0001
Bim x Ano x curso	609,0	24	25,4	7,50	< 0,0001

Fonte: análise de dados.

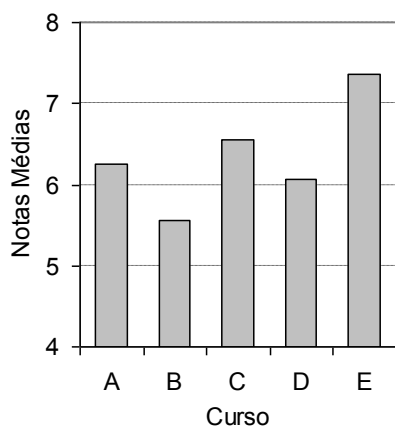
Obs: SQ = soma dos quadrados; MQ = média dos quadrados; GI = graus de liberdade; F = estatística de teste; valor p = probabilidade de ocorrência dos dados se não houvesse influência da variável/interação.

Também foram encontradas evidências de efeito do bimestre sobre a nota (figura 3). As notas mais altas ocorrem no primeiro bimestre e as mais baixas no segundo. Esses resultados indicam que o desempenho está relacionado ao grau de dificuldade do conteúdo apresentado, pois na disciplina investigada, o conteúdo apresentado no primeiro bimestre é o que tem menor grau de complexidade, enquanto que o do segundo bimestre é o que apresenta maior grau de complexidade.

A análise, porém, encontrou evidências de interação entre as variáveis curso e bimestre, indicando que nem todos os cursos seguem este padrão (figura 4). No curso A, a média mais baixa ocorreu no primeiro bimestre e nos demais bimestres os

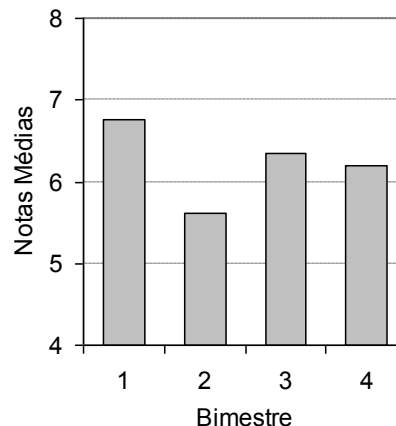
estudantes obtiveram médias semelhantes, enquanto que no curso E a média mais baixa ocorreu no terceiro bimestre e a mais alta no quarto bimestre.

Figura 2 - Notas médias dos estudantes por curso



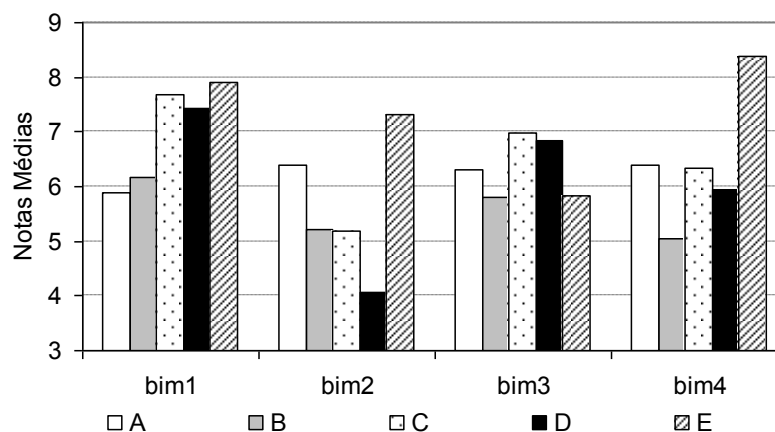
Fonte: análise de dados.

Figura 3 - Notas médias dos estudantes por bimestre



Fonte: análise de dados.

Figura 4 - Notas médias dos estudantes por curso e por bimestre



Fonte: análise de dados.

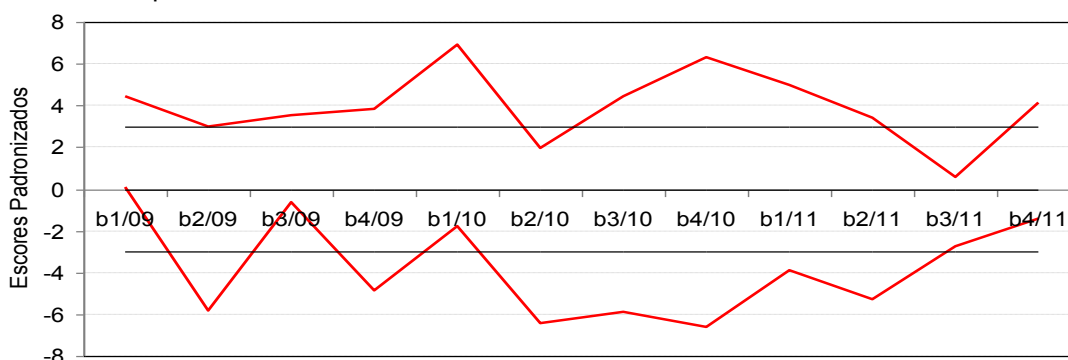
As 15 turmas consideradas nessa análise estiveram sob a regência de quatro professores e uma delas ocorreu sob a forma de colegiado, sendo ministrada por dois professores. Uma análise complementar empregando análise de variância com dados repetidos, considerando as variáveis curso, ano e professor foi executada. Foram avaliados apenas os efeitos principais porque a quantidade de estudantes sob a responsabilidade de cada professor variou muito: entre 15 e 360. Os resultados concordam com os achados na análise anterior, sendo encontradas evidências apenas do efeito da variável curso ($F = 10,943$; $Gl = 2$; valor $p < 0,0001$) sobre as notas médias dos estudantes.

4.3 Implementação dos Gráficos de Controle

Inicialmente, foram construídos dois gráficos de controle sob a abordagem de processo de fluxo múltiplo para monitoramento da tendência central e da variabilidade, os quais foram feitos com a utilização de escores padronizados.

A figura 5 apresenta o gráfico para monitoramento da média, indicando um processo fora de controle estatístico, pois para valores máximos existem apenas duas médias dentro dos limites de controle, enquanto que para valores mínimos, cinco. Os resultados concordam com os achados da análise de variância, a qual encontrou evidências de diferença entre as notas médias dos estudantes dos cursos considerados.

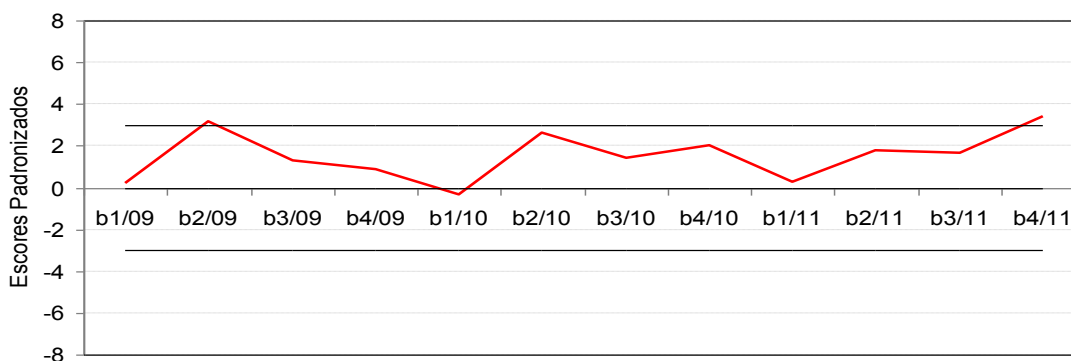
Figura 5 - Gráfico de controle para monitoramento da média sob o enfoque de processo de fluxo múltiplo



Fonte: análise de dados.

A figura 6, que apresenta o gráfico para monitoramento do desvio padrão, também mostra uma situação fora de controle estatístico por apresentar dois valores máximos fora dos limites de controle. Entretanto, a diferença entre esses resultados e os limites de controle é bastante pequena, evidenciando que o maior problema está na centralização do processo.

Figura 6 - Gráfico de controle para monitoramento do desvio padrão sob o enfoque de processo de fluxo múltiplo

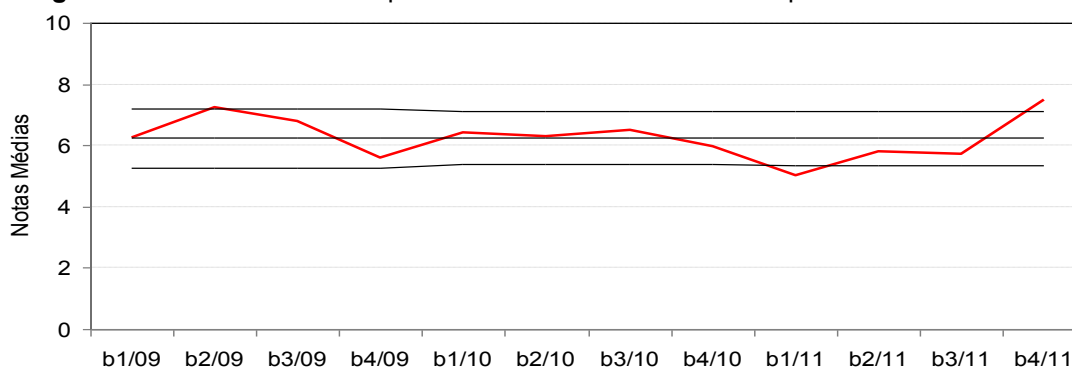


Fonte: análise de dados.

Visto que esse monitoramento da média e desvio padrão em fluxo múltiplo resultou num processo fora de controle e que a análise de variância identificou o curso como fonte de variabilidade, foram elaborados novos gráficos de controle para cada um dos cursos analisados, mas nenhum dos processos foi considerado sob controle estatístico para a tendência central, pois os gráficos continuaram apresentando pontos fora dos limites de controle. Uma análise qualitativa identificou a presença de causas especiais interferindo no processo. Então, os limites foram recalculados com a extração dos pontos que os extrapolaram.

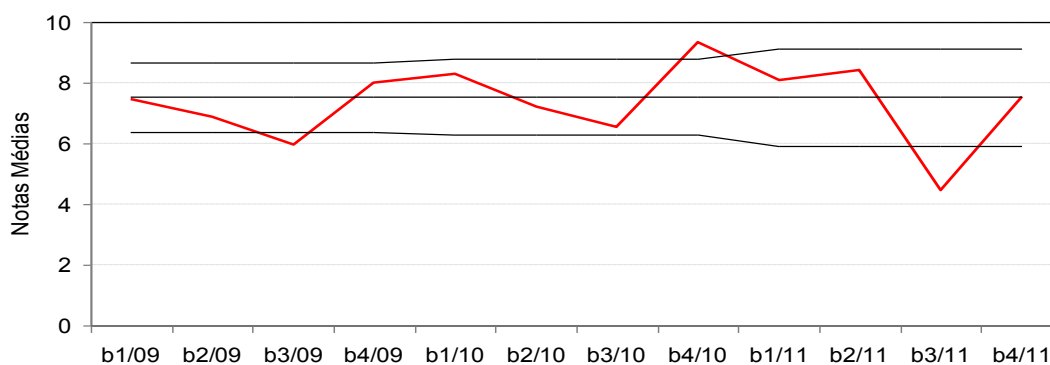
Entre os cinco gráficos construídos para monitoramento da tendência central, o processo considerado com maior estabilidade foi o do curso A que apresentou apenas dois valores fora, mas bastante próximos dos limites de controle (figura 7). Salienta-se ainda que esses valores (um inferior e outro superior) ocorreram em um mesmo ano e com o mesmo grupo de estudantes. O professor ministrante da disciplina para essa turma também não foi o mesmo dos anos anteriores. O processo ocorrido no curso E, embora tenha resultado na maior média geral, apresentou três pontos fora dos limites de controle e um deles bastante afastado desses limites (figura 8). Nesse curso, observa-se também uma maior oscilação nos resultados médios.

Figura 7 - Gráfico de controle para monitoramento da média do processo no curso A



Fonte: análise de dados.

Figura 8 - Gráfico de controle para monitoramento da média do processo no curso E



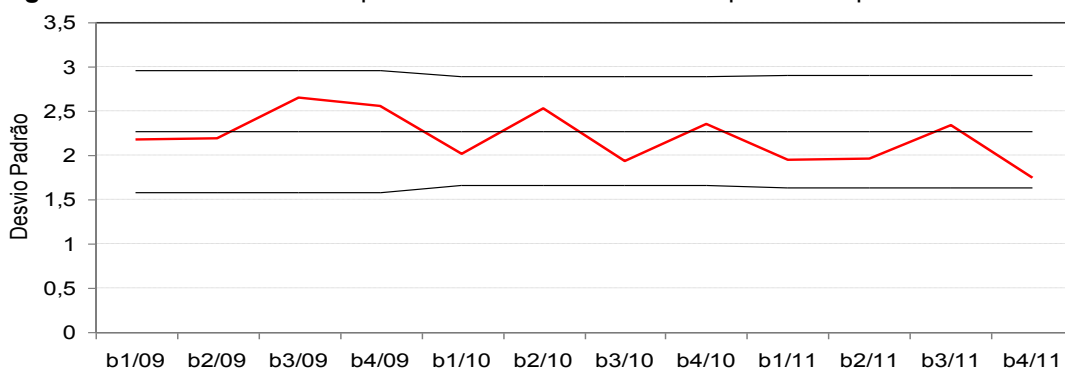
Fonte: Análise de dados.

Considerando os cinco gráficos para monitoramento da tendência central, outro detalhe que chamou atenção foi que entre as médias localizadas além do limite de controle superior houve predominância das obtidas no primeiro bimestre, enquanto que entre as que ficaram abaixo do limite inferior de controle, as obtidas no segundo bimestre foram as mais frequentes. Esse fato mostra uma relação do resultado da avaliação com o grau de dificuldade do conteúdo ministrado, concordando com a análise anterior.

Em relação à variabilidade, três dos cinco cursos (A, B e E) puderam ser considerados sob controle estatístico. Entre eles estão os cursos cujos estudantes obtiveram as notas mais altas (E) e também as notas mais baixas (B), o que é atribuído ao fato de existir um valor máximo (dez) e um valor mínimo (zero) para a mensuração da aprendizagem. Os gráficos para monitoramento do desvio padrão das notas dos cursos A e E são apresentados, respectivamente, nas figuras 9 e 10,

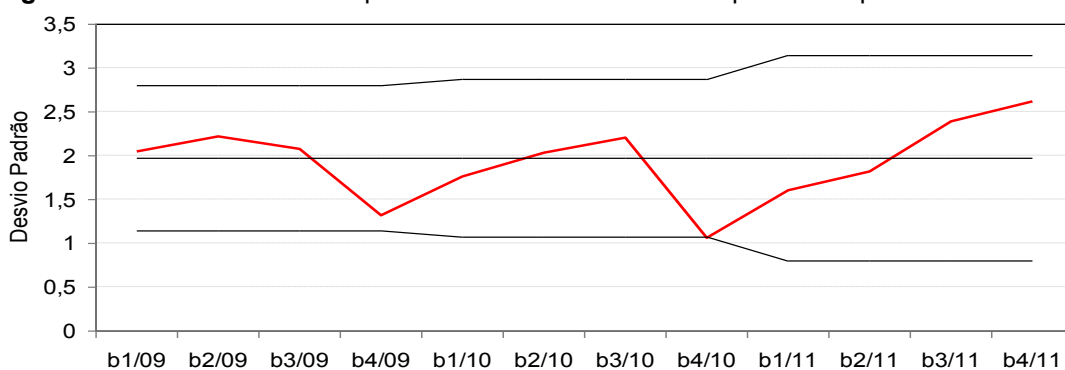
nas quais se verifica que o curso A apresenta maior estabilidade, embora ambos possam ser considerados sob controle estatístico.

Figura 9 - Gráfico de controle para monitoramento do desvio padrão do processo no curso A



Fonte: Análise de dados

Figura 10- Gráfico de controle para monitoramento do desvio padrão do processo no curso E



Fonte: Análise de dados

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo investigou alguns indicadores do desempenho acadêmico (notas bimestrais, médias finais, taxa de evasão, taxa de reprovação), buscando encontrar um padrão de comportamento nas notas dos estudantes que possibilitasse implementar melhorias e monitorar seus efeitos no processo de ensino-aprendizagem. Também analisou o desempenho de algumas técnicas estatísticas recomendadas nos programas de qualidade, entre as quais, medidas descritivas, diversos tipos de gráficos e testes de hipóteses, considerando-os satisfatórios. Em especial, os gráficos de controle foram muito úteis para identificar um padrão no processo analisado, mostrando-se adequados para a identificação da presença de causas especiais.

Os resultados mostraram que o desempenho dos estudantes está relacionado ao curso, razão pela qual não foi possível considerar o processo analisado como processo de fluxo múltiplo. Mesmo assim, por influência do bimestre, também identificado como variável que interfere no processo, foram detectados alguns pontos que extrapolaram os limites de controle, sendo eliminados na definição do valor central e dos limites de controle. Causas especiais foram identificadas para quase todos os dados que extrapolaram os limites de controle. No gráfico de controle da tendência central relativa ao curso A, por exemplo, foram encontradas justificativas para os dois valores que extrapolaram os limites de controle: o primeiro associado à troca de professor, que teve efeito negativo sobre a avaliação, enquanto que o segundo, a uma metodologia diferenciada utilizada na avaliação, resultando num efeito positivo.

Mesmo com a grande subjetividade envolvida no processo de ensino/aprendizagem e das variáveis que nele interferem, os resultados encontrados indicam ser possível estabilizá-lo e monitorá-lo, fornecendo subsídios para sua melhoria.

Concordando com Stuart, Mulins e Drew (1996), considera-se que os gráficos de controle são ferramentas muito importantes para o CEP, que se fundamentam em uma ideia surpreendentemente simples: se você acompanhar o seu processo de fabricação regularmente, você vai saber como ele deve e não deve se comportar. Concordando com Woodall (2000), considera-se que essas ideias extremamente simples, envolvidas nas atividades de monitoramento e controle, talvez tenham sido um dos fatores determinantes do sucesso do controle de qualidade. Embora tenham sido desenvolvidas muitas técnicas sofisticadas, o uso de procedimentos simples parece ter resultado satisfatório.

Convém salientar que, para atingir o objetivo de melhoria da qualidade no processo ensino-aprendizagem, é necessário que se considere essa qualidade sob um enfoque holístico, implementando ações para mobilização e conscientização de professores e estudantes. Existem muitos programas/técnicas para auxiliar a gestão da qualidade em organizações, entre as quais: Planejamento, Execução, Controle e Análise (PDCA), Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar (DMAIC), Diagrama de Causa-Efeito, *Brainstorming*, Análise do Modo e Efeito da Falha (FMEA), 5S,

Círculos de Controle de Qualidade, 5W1H e Seis Sigma, além das técnicas estatísticas que poderiam complementar o CEP.

Embora os gráficos de controle utilizados nesse estudo tenham sido considerados muito úteis, principalmente por sua simplicidade, o que poderia compensar alguma perda de eficiência, como já comentado por Woodwall (2000), sugere-se como trabalho futuro a possibilidade de utilização de gráficos de somas acumuladas.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, P. C., et al. Aplicação do controle estatístico do processo no tempo de espera da urgência clínica hospitalar: um estudo de caso. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 6., 2010, Niterói, Rio de Janeiro. **Anais...** Niterói, Rio de Janeiro, 2010, p. 1-14.

CASTAGLIOLA, P.; MARAVELAKIS, P. E. A CUSUM control chart for monitoring the variance when parameters are estimated. **Journal of Statistical Planning and Inference**, v. 141, n. 4, p. 1463-147, 2011.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jspi.2010.10.013>

CHIH, M.; YEH, L.; LI, F. Particle swarm optimization for the economic and economic statistical designs of the control chart. **Applied Soft Computing**, v. 11, n. 8, p. 5053-506, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2011.05.053>

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

ENGIN, A. B. Determination of optimum economic inspection by economic control chart design and by machine efficiency estimation: an application in weaving industry. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 16, n 1, p. 147-170, 2008.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.simpat.2007.11.006>

FREITAS, A. L. P.; MORAIS, A. S. C. Análise importância-desempenho aplicada à avaliação da qualidade em serviços bancários. **Revista Produção Online**, v. 12, n. 4, p. 1131-1161, 2012.
<http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v12i4.1016>

MARINS, C. S.; OLIVEIRA, E. S.; FREITAS, D. O. Um estudo de caso sobre a aplicação do Controle estatístico de processo (CEP) como método de controle da qualidade. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 2006, Bauru, São Paulo. **Anais...** Bauru, São Paulo, 2006. p. 1-8.

MELO, A.; CATEN, C. S. T.; SANT'ANNA, A. M. O. Otimização dos parâmetros de usinagem na manufatura do ferro fundido. **Revista Produção Online**, Santa Catarina, v. 13, n. 1, p. 375-388, 2013.

<http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v13i1.1200>

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico de qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 220 p.

MORAIS, T. C. M.; SÁ, S. R.; LIMA, M. B. F. Aplicações do controle estatístico de processo para o controle de tensão elétrica em subestações: estudo de caso de uma empresa distribuidora de energia elétrica. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos, São Paulo. **Anais** São Carlos, São Paulo, 2010, p. 1-9.

OU, Y.; WU, Z.; TSUNG, F. A comparison study of effectiveness and robustness of control charts for monitoring process mean. **International Journal of Production Economics**, v. 135, n. 1, p. 479-490, 2012.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.08.026>

PAESE, C.; CATEN, C. T.; RIBEIRO, J. L. D. Aplicação da Análise de Variância na Implantação do CEP. **Produção**, v. 11, n. 1, p. 17-26, 2001.

Samohyl, R. **Controle estatístico de qualidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. 274 p.

SEIDEL, E. J., et al. Métodos estatísticos aplicados à avaliação da qualidade da matéria prima e classificação dos fornecedores de uma indústria de laticínios.

Revista Produção Online, Santa Catarina, v. 11, n. 1, p. 3-28, 2011.

<http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v11i1.372>

SHU, M. H.; WU, H. C. Fuzzy X and R control charts: fuzzy dominance approach. **Computers & Industrial Engineering**, v. 61, p. 676-685, 2011.

SILVA, B. B.; DUARTE, E.; MANO, A. P. Utilização de ferramentas de melhoria contínua para realizar a gestão de uma disciplina de um curso de engenharia de produção. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 8., 2012, Niterói, Rio de Janeiro. **Anais ...** Niterói, Rio de Janeiro, 2012, p. 1-19.

SILVEIRA, E. F.; WERNER, L. Proposta de método de priorização de processos a serem monitorados no controle estatístico de processo: uma aplicação em trocador de calor. **Revista Produção Online**, Santa Catarina, v. 11, n. 1, p. 116-135, 2011.

<http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v11i1.517>

SOUZA, G. P.; DOMINGOS FILHO, M.; SAMOHYL, R. W. Aplicação dos conceitos de Controle Estatístico de Processo (CEP) em uma indústria de fundição do Norte Catarinense. **Revista Produção Online**, Santa Catarina, v. 7, n. 2, p. 64-84, 2007.

<http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v7i2.73>

SOUZA, L. M., et al. Eficiência dos gráficos de controle xbarra, ewma e cusum. **Rev. Eletrônica Produção & Engenharia**, v. 1, n. 1, p. 81-94, 2008.

STUART, M.; MULLINS, E.; DREW, E. Statistical quality control and improvement. **European Journal of Operational Research**, v. 88, p. 203-214, 1996.

[http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00069-0](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(95)00069-0)

SULEK, J. M.; MARUCHECK, A.; LIND, M. R. Measuring performance in multi-stage service operations: an application of cause selecting control charts. **Journal of Operations Management**, v. 24, n. 5, p. 711-727, 2006.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jom.2005.04.003>

WOODALL, W. H. Controversies and contradictions in statistical process control. **Journal of Quality Technology**, v. 32, n. 4, p. 341-350, 2000.



Artigo recebido em 08/05/2013 e aceito para publicação em 12/04/2014

DOI: <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v14i2.1592>