



UM MÉTODO PARA ANÁLISE DE QUALIDADE DE FORMAÇÃO E PLANEJAMENTO DO ENSINO DE GRADUAÇÃO

Carlos Marcelo Pedroso – pedroso@eletrica.ufpr.br
Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Elétrica
Centro Politécnico, Av. Cel. Francisco H dos Santos, s/n
CEP: 81530-900 - Curitiba - PR - Brasil

Resumo: *O nível de qualidade de formação dos egressos de cursos de graduação depende fundamentalmente do trabalho desenvolvido ao longo dos períodos letivos. Neste artigo é apresentado um modelo que permite prever a qualidade de formação do egresso em função do grau de aprendizado demonstrado ao longo dos semestres letivos. A qualidade de formação do egresso é representada por níveis discretos, numerados de 1 a 5, representando respectivamente o pior e o melhor nível de formação. O modelo foi estabelecido através da teoria de Cadeias de Markov, considerando como entrada o índice de rendimento acadêmico normalizado, que é uma medida de desempenho facilmente obtida nos cursos de graduação. Os resultados indicam que mesmo pequenas variações no nível de aprendizado nos períodos podem levar a grandes variações no nível final de qualidade de formação do egresso. A compreensão deste processo é fundamental para a gestão proativa da qualidade de formação em cursos de Engenharia.*

Palavras-chave: *Avaliação, Aprendizado, Qualidade de Ensino.*

1. INTRODUÇÃO

O instrumento central de avaliação dos cursos superiores no Brasil é o Exame Nacional de Desempenho (ENADE), estabelecido pela Lei nº 10.861, de 14 de abril de 2004 (SINAES, 2004). Este exame é aplicado a cada 3 anos em cada curso de graduação, e atualmente participam 100% dos egressos de cada curso. As notas obtidas passam por um processo de normalização, de acordo com uma metodologia definida pelo MEC (Ministério da Educação), e um grau final discreto é atribuído ao desempenho do curso. Este grau final varia de 1 a 5, onde o grau 1 representa o pior desempenho e o grau 5 representa o melhor.

Os resultados obtidos estão sendo utilizados pelo MEC como critério para autorização e um desempenho ruim no exame pode motivar visitas de comissões de avaliação, redução de vagas e até fechamento de cursos. A sociedade está utilizando os resultados como um fator de ranqueamento de cursos, o que impacta no maior ou menor interesse dos estudantes por um certo curso de graduação.

Neste cenário, os administradores das IES (Instituições de Ensino Superior) buscam mecanismos para garantir a qualidade de formação para seus cursos de graduação. No entanto, não há uma metodologia de avaliação que permita relacionar as medidas de desempenho normalmente utilizadas (notas médias, índice de rendimento acadêmico) e o grau final médio



(nível discreto, de 1 a 5) a ser obtido por uma turma. A compreensão de como o grau de aprendizado em cada período afeta o nível médio do egresso é fundamental para tomada de decisões dos coordenadores de cursos.

Este artigo apresenta uma metodologia matemática para previsão de desempenho final de uma turma em função do índice de aprendizado observado em cada período. O modelo resultante é elegante e de aplicação relativamente simples, utilizando-se estimativas de notas médias já disponíveis na maioria dos cursos de graduação. A metodologia pode ser utilizada para realização de previsões de desempenho e também para o planejamento de ações corretivas. Os resultados mostram que pequenas variações no índice de rendimento acadêmico, calculado através da nota média dos estudantes, apresenta grande impacto no grau final médio esperado do egresso do curso. O estudo de estratégias de qualidade já foi alvo de estudos anteriores, como em (PEDROSO, 2010) e (PEDROSO e KRUPPECHACKE, 2009).

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 descreve o modelo de previsão de desempenho final baseado no índice de rendimento acadêmico apresentado em cada período. A Seção 3 mostra como o modelo pode ser parametrizado e avalia o impacto da alteração da qualidade de aprendizado em cada período na avaliação final do estudante. A Seção 4 ilustra como o modelo pode ser utilizado para melhoria da qualidade de ensino. Finalmente, as conclusões são apresentadas na Seção 5.

2. AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DO ESTUDANTE

O resultado das avaliações do Exame Nacional de Desempenho, realizado com estudantes de cursos de graduação no Brasil a cada três anos, é mapeado em uma nota de 1 a 5, de acordo com uma normalização especificada pelo MEC.

Suponha que o nível de aprendizado de um estudante possa ser representado por um grau de 1 a 5. Ao cursar um período letivo, o estudante pode apresentar evolução para um próximo nível, permanecer no mesmo nível ou mesmo regredir um nível. A situação descrita pode ser utilizada para construir uma máquina de estados, conforme representado pela Figura 1. Por exemplo, em um curso de Engenharia de 10 períodos, um estudante deve realizar pelo menos 10 transições neste diagrama de estados, com um nível inicial dado pela qualidade de formação anterior do estudante. O objetivo do modelo será prever qual o nível do estudante ao final do curso.

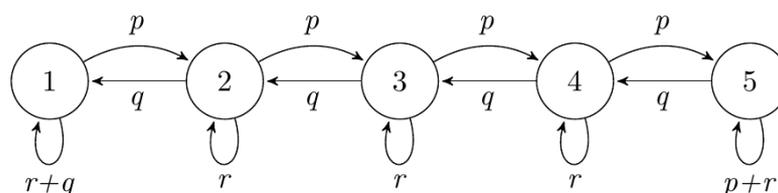


Figura 1 – Alteração do nível do estudante em cada período de estudo.

Na Figura 1 também estão ilustradas as probabilidades de evolução, regressão ou estabilidade do nível do estudante, respectivamente dadas por p , q e r . Para efeito de



simplicidade, estas probabilidades serão consideradas constantes ao longo do tempo de duração do curso. Desta forma, pode-se escrever:

$$p + q + r = 1 \quad (1)$$

Considerando que a evolução do nível do estudante depende apenas do estado atual, então é possível escrever uma Cadeia de Markov, de acordo com o diagrama de transição de estados apresentado na Figura 1, que resulta na matriz de transição de probabilidades dada pela Equação 2, apresentada a seguir:

$$P = \begin{matrix} \text{Nível} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{pmatrix} (r+q) & p & 0 & 0 & 0 \\ q & r & p & 0 & 0 \\ 0 & q & r & p & 0 \\ 0 & 0 & q & r & p \\ 0 & 0 & 0 & q & (p+r) \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (2)$$

A matriz de transição de probabilidade resultante representa uma cadeia de Markov ergódica e regular (TAYLOR e KARLIN, 1998). Desta forma, é possível estabelecer a probabilidade de permanência em cada um dos estados utilizando-se o teorema do limite das cadeias de Markov. Supondo que a probabilidade de permanência em cada estado é dada pelo vetor $W=[w_1 \ w_2 \ w_3 \ w_4 \ w_5]$ com $w_1+w_2+w_3+w_4+w_5=1$, o teorema do limite das cadeias de Markov indica que o vetor W pode ser calculado fazendo-se $W.P=W$. Aplicando $r=1-(p+q)$ e resolvendo o sistema de equações resultante com ajuda do software matemático *Maxima* (BESHENOV, 2011), obtém-se as expressões para os valores esperados, descritos na Equação 3 a seguir¹:

$$w_1 = \frac{q^4}{A}, w_2 = \frac{p \cdot q^3}{A}, w_3 = \frac{p^2 \cdot q^2}{A}, w_4 = \frac{p^3 \cdot q}{A}, w_5 = \frac{p^4}{A} \quad (3)$$

$$A = q^4 + p \cdot q^3 + p^2 \cdot q^2 + p^3 \cdot q + p^4$$

As probabilidades de estado estacionário w_1, w_2, w_3, w_4 e w_5 , apresentadas na Equação 3, representam, respectivamente, a probabilidade de um estudante apresentar o nível 1, 2, 3, 4 e 5, após um número suficientemente grande de períodos cursados. Considerando estes resultados, o valor esperado para o nível médio da turma ao final do curso, denotada por μ , pode ser calculado por $\mu=w_1+2w_2+3w_3+4w_4+5w_5$. Substituindo esta expressão com os resultados apresentados na Equação 3, pode ser obtido:

1. O sistema de equações resultante possui 5 equações e 5 variáveis, em função das probabilidades p, q e r . A resolução do sistema de equações apresenta uma complexidade razoável, que não foi apresentada para economizar espaço e poupar o leitor de procedimentos algébricos.



$$\mu = \frac{q^4 + 2 \cdot p \cdot q^3 + 3 \cdot p^2 \cdot q^2 + 4 \cdot p^3 \cdot q + 5 \cdot p^4}{q^4 + p \cdot q^3 + p^2 \cdot q^2 + p^3 \cdot q + p^4} \quad (4)$$

A variável μ , apresentada na Equação 4, representa o valor esperado para o nível médio final de uma turma em função das variáveis p e q , que em seu conjunto, representam a eficiência que um curso de graduação consegue produzir o aprendizado em um período. O tempo mínimo para integralização de cursos de Engenharia no Brasil é de 10 semestres letivos, o que leva a um número de transições suficiente grande para que a esta suposição seja aproximadamente válida. A variável μ pode ser utilizada de duas formas: para previsão de desempenho e para o planejamento de metas e eficiência de ensino.

3. PREVISÃO DE DESEMPENHO DE UM CURSO

Para realizar a previsão de desempenho de um curso, deve ser estimado o valor das probabilidades p , r e q . Uma maneira possível para obter estes valores é calcular o índice de rendimento acadêmico normalizado (\overline{IRA}_N , valor esperado para a nota obtida pelo estudante) em cada período e relacionar esta nota média com p , r e q . Considerando um grupo suficientemente grande de estudantes, o teorema do limite central garante que as notas irão convergir para uma distribuição de probabilidade Normal (MEYER, 1998). Considerando uma estimativa para o índice de rendimento médio normalizado (\overline{IRA}_N) e seu desvio padrão, podem-se obter as curvas ilustradas na Figura 2.

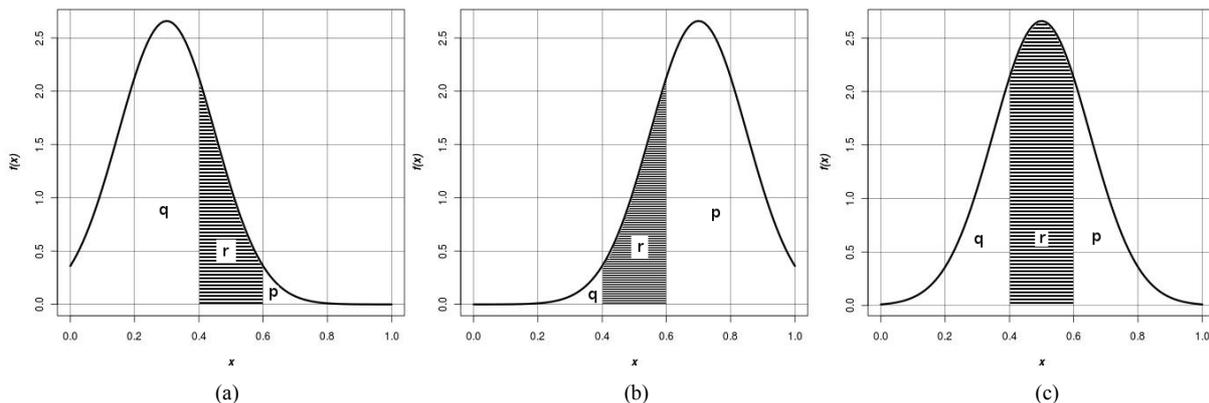


Figura 2 – Exemplo para obtenção dos valores de p , r e q : a variável x no eixo horizontal representa \overline{IRA}_N e $f(x)$ representa a distribuição de probabilidade Normal. (a) $\overline{IRA}_N=0,3$. (b) $\overline{IRA}_N=0,5$. (c) $\overline{IRA}_N=0,7$; todas com desvio padrão de 0,15.

Para obter os valores de p , r e q , devem ser estabelecidos limites onde supõe-se que ocorre ou não o aprendizado, respectivamente T_2 e T_1 . No exemplo, o limite foi considerado em $T_1=0,4$ e $T_2=0,6$. Os valores de p , r e q podem ser obtidos a partir da distribuição Normal. A Figura 2 (a) representa um caso onde o valor de $\overline{IRA}_N=0,3$ com desvio padrão de 0,15 – neste caso, o desempenho da turma é ruim. A Figura 2 (b) ilustra um caso onde o desempenho



da turma é mediano, com $\overline{IRA}_N=0,5$ e a Figura 2 (c) mostra uma turma com $\overline{IRA}_N=0,7$, um bom desempenho. Para os três casos, os valores de q , r e p são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de q , r e p para os três exemplos ilustrados na Figura 2

	Caso (a)	Caso (b)	Caso (c)
q	0,75	0,25	0,02
r	0,23	0,50	0,23
p	0,02	0,25	0,75

A partir dos valores de p , r e q , através da Equação 4, pode ser encontrada a nota média esperada. Aplicando-se a Equação 3 pode ser obtido o número médio de estudantes que irão obter nota 1, 2, 3, 4 e 5. Os resultados para o exemplo das três turmas ilustradas na Figura 2 são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de w_1 , w_2 , w_3 , w_4 , w_5 e μ para os três exemplos ilustrados na Figura 2 com a aplicação da Equação 4

	Caso (a)	Caso (b)	Caso (c)
w_1	96,96%	20,00%	0,00%
w_2	2,95%	20,00%	0,00%
w_3	0,09%	20,00%	0,09%
w_4	0,00%	20,00%	2,95%
w_5	0,00%	20,00%	96,96%
μ	1,03	3,00	4,97

Observa-se no exemplo que pequenas alterações em \overline{IRA}_N impactam fortemente no rendimento esperado da turma. A Tabela 2 mostra que para $\overline{IRA}_N=0,5$ a nota média esperada é de 3. Para os casos limite onde $\overline{IRA}_N=0,3$ e $\overline{IRA}_N=0,7$, as notas médias são de aproximadamente 1 e 5, respectivamente.

A Figura 3 ilustra o nível médio esperado do egresso (μ) como função da variação do \overline{IRA}_N para três situações de desvio padrão de IRA_N , considerando-se os limites $T_1=0,4$ e $T_2=0,6$. Observa-se que uma pequena variação de \overline{IRA}_N pode causar grandes variações na nota média, e que este efeito é maior quanto menor o desvio padrão. Por exemplo, para a curva que ilustra o desvio padrão do IRA_N de 0,15, com $\overline{IRA}_N = 0,50$ o grau obtido é 3. Caso o valor de \overline{IRA}_N aumente em 10%, para 0,55, a avaliação média final do egresso será de aproximadamente 4,3. Observa-se também que uma redução em 10% no IRA_N causa uma previsão do nível final médio do egresso de 1,7. Ou seja, um pequeno aumento no índice de rendimento acadêmico normalizado ao longo dos períodos leva a um aumento significativo na qualidade de formação final do egresso.

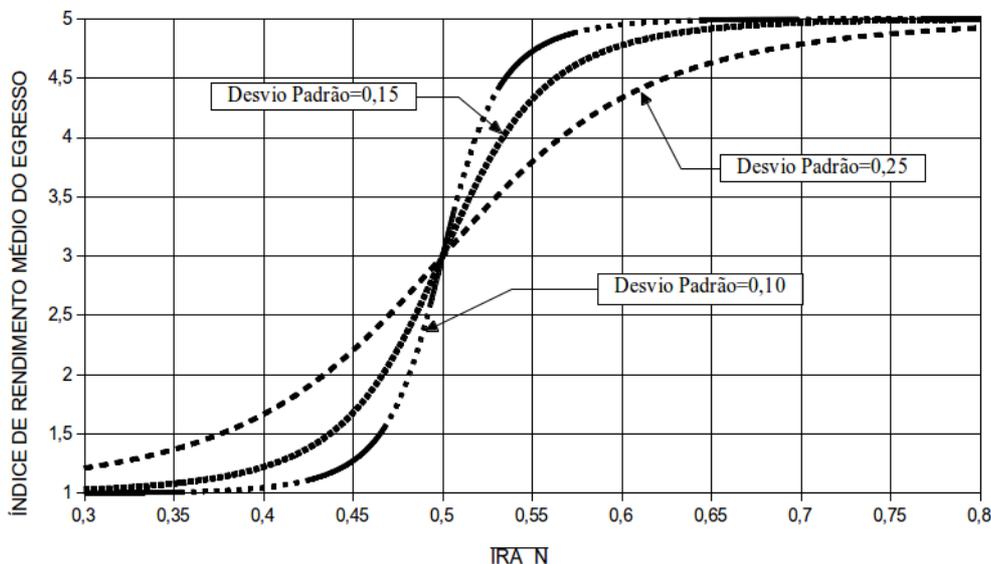


Figura 3 – Variação do \overline{IRA}_N em cada período e sua consequência sobre o nível médio final do egresso, após um número suficientemente grande de períodos cursados, considerando-se três situações de desvio padrão de IRA_N .

A Figura 3 ilustra também o efeito do aumento do desvio padrão de IRA_N o aumento neste desvio padrão indica uma situação onde que o processo de aprendizado não é homogêneo (diferenças mais acentuadas no desempenho de aprendizado dos estudantes). Observa-se que quanto maior o desvio padrão, mais difícil é o aumento do rendimento médio final – a situação ideal é manter as turmas com rendimento homogêneo. Observações práticas mostram que o desvio padrão do IRA_N tipicamente está entre 0,10 e 0,20.

No entanto, em muitos casos o sistema de avaliação do curso pode não representar a verdadeira situação de aprendizado. Os motivos para que isto ocorra são variados e a análise destes fatores está fora do escopo deste artigo – no entanto, é importante observar que isto ocorre de fato em muitas situações reais. Neste caso, as probabilidades p , q e r podem ser encontrados a partir da nota de um exame independente aplicado aos estudantes do curso. A metodologia de análise é a mesma a partir deste ponto.

Adicionalmente, no ENADE, a nota final de um curso é relativa a uma normalização em relação às notas de outros cursos. Esta adaptação de notas, em muitos casos, pode avaliar bem um curso que obteve uma nota média relativamente ruim. Como as notas finais são relativas às notas de outros cursos, é comum que um curso com uma nota média de 3,5 (na escala de 0 a 10) seja avaliado com um conceito 4 (na escala de 1 a 5). Para considerar este tipo de processo na metodologia de previsão proposta, é possível estimar valores para os limites de aprendizado T_1 e T_2 com base no resultado de resultados de ENADEs anteriores – por exemplo, pode-se utilizar a nota média obtida por uma determinado área de avaliação e este valor pode ser aplicado no modelo. Por exemplo, se a nota média de um determinado



curso foi 3,9, como foi o caso para área de Engenharia de Computação em 2008, os níveis T_1 e T_2 podem ser configurados em 2,9 e 4,9 (supondo o desvio padrão de 1,0) e a nota de uma determinada turma no ENADE pode ser prevista utilizando o método proposto utilizando-se o \overline{IRA}_N , estimado em cada uma das turmas do curso.

4. PLANEJAMENTO DE METAS E EFICIÊNCIA DE ENSINO

A eficiência de aprendizado pode ser planejada para obtenção de um rendimento médio desejado ao final do curso. A eficiência do aprendizado em um período do curso pode ser descrita pelas variáveis p e q . Foi sugerido um método para estimar p e q em função do índice de rendimento médio normalizado dos estudantes (\overline{IRA}_N). Uma das aplicações do modelo proposto, além de realizar previsões de desempenho, é ajustar a eficiência do processo de ensino do curso para atingir uma meta de qualidade de formação final dos egressos.

Para realizar este planejamento, é necessário realizar medições confiáveis do nível de aprendizado a cada letivo. Esta previsão pode ser feita de duas maneiras:

- i. Caso o sistema de avaliação seja confiável, é simples estimar o valor de \overline{IRA}_N analisando-se as notas obtidas nas diversas disciplinas.
- ii. Caso o sistema de avaliação não seja confiável, é possível realizar uma avaliação independente com os estudantes, a cada período letivo e obter uma estimativa de \overline{IRA}_N . Recomenda-se que esta avaliação não seja elaborada pelos mesmos professores que ministram as disciplinas regulares.

A avaliação sistemática da eficiência do aprendizado pode ser utilizada para tomada de decisões por parte dos gestores de cursos. Por exemplo, um curso que apresenta uma eficiência baixa tem as seguintes alternativas para melhoria:

- i. Caso o desvio padrão do \overline{IRA}_N seja grande, isto mostra que as turmas são heterogêneas, e o curso deve pensar em ofertar atividades de nivelamento para os estudantes mais fracos.
- ii. Caso a \overline{IRA}_N seja baixo, devem ser re-estruturadas as atividades de ensino, para atingir o \overline{IRA}_N necessário para produzir profissionais com nível final médio desejado. Estabelecendo-se o nível final desejado do egresso, podem ser calculadas as probabilidades p , q e r . A partir destas, através da inversa da distribuição Normal, pode ser estabelecido qual deve ser o valor de \overline{IRA}_N a ser buscado para atingir o objetivo.
- iii. Caso o sistema de avaliação não seja confiável, este problema deve ser corrigido comparando-se a nota da avaliação independente com o índice de rendimento calculado pela média das notas atribuídas aos estudantes nas avaliações das diversas disciplinas e ofertando melhor preparo aos professores na elaboração das avaliações.

O processo de busca de qualidade descrito pode causar evasões, principalmente em instituições onde o nível do ingressante é baixo – esta situação é particularmente preocupante em instituições privadas de ensino de Engenharia que recebem uma boa parcela de seus ingressantes com lacunas de formação na área de matemática básica e outras disciplinas fundamentais.

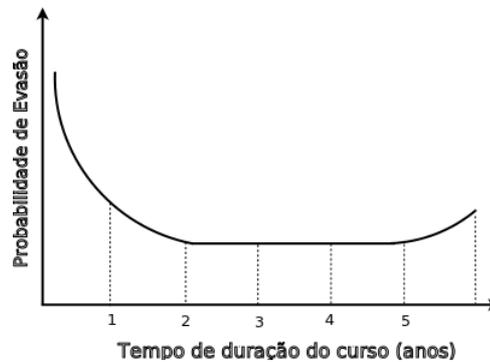


Figura 4 – Probabilidade de evasão utilizando o modelo de falhas em dispositivos.

Observa-se que a evasão em cursos de Engenharia possui comportamento semelhante ao observado em falhas de sistemas, conforme ilustrado pela Figura 4, que mostra que a taxa de desistências é maior no início do curso, estabilizando a partir do 3º ano e voltando a aumentar no fim do curso. A taxa de evasão aumenta com o aumento do nível de exigência de aprendizado de um curso (valor de p). Instituições de ensino superior interessadas em manter um nível de qualidade esperado do egresso, mas sem causar um nível de evasão desnecessário podem realizar uma otimização relacionando o nível de exigência com a evasão causada, através da aplicação de um método de otimização linear utilizando o modelo de previsão de evasão e o nível de qualidade esperado do egresso dado pela Equação 4. A taxa de evasão nos primeiros dois anos pode ser escrita como uma função de p . O modelo de otimização resultante será tratado em um trabalho futuro.

5. CONCLUSÕES

O modelo apresentado neste artigo pode ser utilizado para previsão e tomada de decisões por gestores de cursos de graduação. Foi estabelecido um relacionamento entre a qualidade de formação em cada período e o nível final esperado para o egresso do curso. Também foram mostradas situações onde o modelo pode ser aplicado.

Os resultados indicam que pequenas variações na qualidade do aprendizado em cada um dos períodos do curso podem apresentar um grande impacto no nível de formação final do egresso. A grande contribuição do modelo proposto é oferecer um método que permite o estudo sistemático deste fenômeno, permitindo previsões de desempenho e o planejamento de ajustes do processo de ensino através de medidas de desempenho normalmente disponíveis aos coordenadores pedagógicos de cursos.

Adicionalmente, o modelo proposto pode ser utilizado para estabelecer o nível de aprendizado necessário para atingir um certo nível de qualidade ao mesmo tempo que minimiza a probabilidade de evasão – este é um problema bastante sério enfrentado por cursos de graduação em Engenharia.

O modelo proposto pode ser utilizado também por instituições que recebem estudantes com grandes deficiências de formação básica, ingressando, portanto, com o nível 1 no



diagrama de transição de estados ilustrado na Figura 1. A oferta de atividades de recuperação pode elevar a probabilidade de melhoria (variável p), para os estudantes de nível 1 e 2, por exemplo. O sistema de equações pode ser reescrito para determinar qual seria o índice de rendimento acadêmico mínimo necessário para obter-se um certo nível de qualidade esperada quando estes estudantes tornarem-se egressos do curso. A IES também pode estar interessada no efeito causado pelo ingresso de estudantes com nível 1 e 2 na qualidade de formação final esperada caso não sejam tomadas ações corretivas. Outra aplicação possível é o estabelecimento de um modelo de otimização entre qualidade de formação e evasão. Ambos os temas serão explorados em um trabalho futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BESHENOV, LYOSHA. MAXIM, a Computer Algebra System. Version 5.25.1., 2011. Disponível em: <<http://maxima.sourceforge.net/>>.

MEYER, P. L. Probabilidade Probabilidade Aplicações à Estatística. 2a Edição. LTC, 2006.

TAYLOR, H.; KARLIN, S. An Introduction to Stochastic Modeling. 3rd. ed. Academic Press, 1998.

SINAES. Lei nº 10.861, de 14 de abril de 2004, Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (Sinaes), 2004.

PEDROSO, CARLOS M. Estratégias para retenção e recuperação de estudantes com deficiência em fundamentos de matemática. **Anais**: XXXVIII Congresso Brasileiro de Ensino em Engenharia, Fortaleza, Brasil, 2010.

PEDROSO, CARLOS M. e KRUPCHACK, JOSÉ E. Análise de alternativas para recuperação de fundamentos de matemática no ensino de cálculo em cursos de engenharia. **Anais**: XXXVII Congresso Brasileiro de Ensino em Engenharia, Recife, Brasil, 2009.



A METHOD FOR ANALYSIS OF QUALITY OF FORMATION FOR UNDERGRADUATE COURSES

Abstract: *The quality of formation from undergraduate programs depends fundamentally on the work done during the academic periods. This paper presents a model to predict the quality of graduates according to the degree of learning demonstrated over the semesters. The quality of formation of egress is represented by discrete levels, numbered 1-5, respectively representing the worst and better level. The model was established through the theory of Markov chains, taking as input the index of academic performance, which is a performance measure easily obtained in undergraduate courses. The results indicate that even small variations in the average level of the learning in a semester may lead to large variations in the level of quality of the final formation.*

Key-words: *Evaluation, Learning, Teaching Quality.*