

Desempenho Acadêmico Relativo por Sistema de Inferência Fuzzy com Método Combs em Linguagem “R”

Relative Academic Performance by Fuzzy Inference System with Combs Method in ‘R’

Luiz Octávio Gavião^{a*}, Gilson Brito Alves Lima^a, Annibal Parracho Sant’Anna^a,
Márcia de Freitas Siqueira Sadok Menna Barreto^b

^aUniversidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, Brazil

^bUnilasalle, Niterói-RJ, Brazil

Resumo: Em geral, a avaliação de desempenho acadêmico no Brasil é quantificada por médias aritméticas. As diversas atividades, trabalhos e avaliações em cada disciplina são normalmente ponderadas em uma média final. Entretanto, o uso das médias apresenta limitações. A média não permite identificar as notas com melhor desempenho relativo. Este artigo teve por finalidade apresentar uma alternativa à avaliação do desempenho acadêmico por modelagem *fuzzy*. A pesquisa apoiou-se em modelagem anterior dos autores, com modificações significativas. O sistema recebeu nova base de dados, a partir de notas reais dos alunos de uma universidade apoiadora da pesquisa. O sistema de regras contemplou a conversão direta ao Coeficiente de Rendimentos, sem o uso de médias. O processo sofreu análises gráficas aperfeiçoadas, a partir do uso do software “R”. O método Combs, embora empregado em ambos os estudos, foi essencial para esta pesquisa, por proporcionar uma economia computacional de milhares de regras de inferência. A abordagem relativa por modelagem *fuzzy* permitiu identificar quatro alunos dentre os 54 que merecem atenção especial de educadores e gestores, diferentemente do resultado por médias. A aplicação desta pesquisa mostrou como o mérito relativo privilegia a posição global do aluno no conjunto, enquanto a média tradicional valoriza o resultado absoluto.

Palavras-chave: Desempenho Acadêmico Relativo; Sistema Fuzzy; Combs; Linguagem R.

* Autor correspondente. Luiz Octávio Gavião, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil.

E-mail: luiz.gaviao67@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

De maneira geral, a avaliação de desempenho acadêmico no Brasil é quantificada por médias aritméticas. As diversas atividades, trabalhos e avaliações em cada disciplina são normalmente ponderadas em uma média final. Em uma etapa seguinte, essas médias das disciplinas são novamente agregadas, também por média aritmética, para a obtenção de um coeficiente de rendimento (CR) do aluno (BONAMINO; SOUSA, 2012; CASTRO, 2009; GATTI, 2009). A legislação educacional não determina o método de obtenção da nota final e faculta à instituição de ensino a escolha do processo que julgue adequado (BRASIL, 2005).

Embora o uso das médias para a obtenção do CR seja amplamente utilizado no Brasil, principalmente no Ensino Médio e Universitário, o método apresenta limitações. A média não permite identificar as notas com melhor desempenho relativo. Por exemplo, um desempenho com grau “nove” em todas as disciplinas resultará em um CR com o mesmo valor absoluto. Entretanto, uma nota “nove” obtida em uma disciplina com elevado índice de reprovação indica um mérito relativo superior a outra nota de igual valor, em que os alunos foram aprovados com alto rendimento. De fato, o cálculo do CR por médias aritméticas não quantifica essas distorções, comprometendo a identificação do mérito de alunos com desempenho excepcional. Por outro lado, disciplinas com elevados índices de aprovação podem mascarar a identificação dos alunos que necessitam de atenção especial. Em síntese, o uso das médias dificulta a identificação de *outliers*, por não distinguir o mérito relativo de alunos avaliados. Este problema de pesquisa é relevante a gestores educacionais e gestores de recursos humanos (GAVIÃO; LIMA; SANT’ANNA, 2015).

Esse tema foi anteriormente abordado por Gavião, Lima e Sant’Anna, (2015), com a aplicação de um sistema *fuzzy* baseado em regras para a conversão das notas em cada disciplina, com posterior cálculo do CR ainda por média aritmética. Naquela pesquisa foram simuladas notas com médias finais iguais, de forma que o resultado *fuzzy* demonstrasse o poder discriminatório do modelo então proposto. As lacunas daquela pesquisa são revisitadas neste artigo, que apresenta aperfeiçoamentos à proposta original.

Dentre as novidades desta abordagem, destaca-se a aplicação do modelo a uma base de dados do curso de Ciência da Computação de uma universidade do Estado do Rio de Janeiro, contendo as notas de 54 alunos em oito disciplinas do estágio básico. Ressalta-se também o desenvolvimento de novas regras de inferência, integrando o conjunto das notas das disciplinas para a obtenção direta do CR, sem recorrer ao cálculo por médias aritméticas. A eventual

“explosão combinatória”, resultante da utilização de todas as disciplinas nas regras de inferência foi eliminada a partir do método Combs (COMBS; ANDREWS, 1998). Os dados decorrentes da estatística descritiva dos desempenhos dos alunos em cada disciplina, apresentados por gráficos *boxplot*, foram mantidos para a criação das funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy*, por garantirem a distinção de mérito que se busca na proposta (GAVIÃO; LIMA; SANT’ANNA, 2015). O software “R” foi utilizado para a modelagem, a partir do aplicativo “FuzzyToolkitUoN”, desenvolvido na Universidade de Nottingham, Reino Unido (R-CORE-TEAM, 2016).

Este artigo foi dividido em seis Seções. A Seção 2 apresenta uma breve revisão da literatura sobre trabalhos anteriores, sobre a lógica *fuzzy* aplicada ao problema, sobre o método Combs e sobre estatística descritiva com *boxplot*. A Seção 3 descreve as etapas seguidas na pesquisa. A Seção 4 descreve a aplicação a uma base de dados de um curso universitário. A Seção 5 analisa os resultados obtidos. Por fim, a Seção 6 traz as considerações finais do artigo. Foram também incluídos dois Apêndices, com os dados iniciais e o código de programação em linguagem “R”. Por necessidade de constrição do texto, esses Apêndices foram convertidos em imagens de código “QR”.

2. REVISÃO ABREVIADA DA LITERATURA

2.1 Avaliação Acadêmica por Lógica *Fuzzy*

Diversos autores têm explorado o uso da lógica *fuzzy* para a análise de desempenho acadêmico. Segundo Rasmani et al. (2013), observa-se na literatura que as abordagens de sistemas educacionais com a lógica *fuzzy* têm enfatizado as seguintes áreas: agregação de notas dos alunos, avaliação da instrução realizada por computador, avaliação curricular e modelos preditivos com base em evidências. Recentes pesquisas merecem destaque, por explorarem a lógica *fuzzy* para a inclusão de avaliações subjetivas ao processo de obtenção do grau de desempenho de alunos (BABA; CIN; BAKANAY, 2012; BOONGOEN; SHEN; PRICE, 2011; CHRYSAFIADI; VIRVOU, 2013; GOKMEN et al., 2010; RUSMIARI; PUTRA; SASMITA, 2013; YADAV; SONI; PAL, 2014). No Brasil, alguns autores também têm publicado trabalhos nessa área (GOTTI, 2013; MALVEZZI; MOURÃO; BRESSAN, 2010; MATEUS et al., 2009; MOSSIN; PANTONI; BRANDÃO, 2008; TIAGO; BARONI; DA FONSECA, 2014; WILSON, 2011).

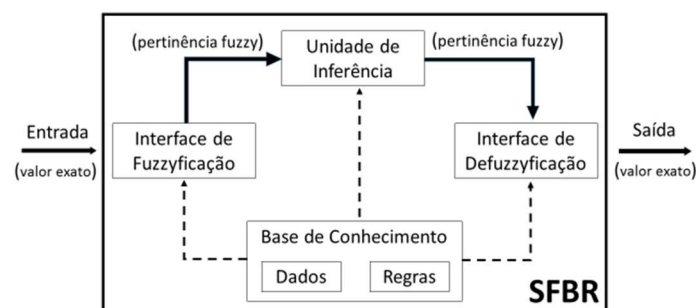
2.2 Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*

A teoria dos conjuntos *fuzzy* de Zadeh (1965) é relevante à solução do problema. Essa teoria tratou o processo cognitivo humano com base em variáveis linguísticas, cujos conjuntos definem seus integrantes por graus de pertinência, diferentemente da lógica Booleana. No contexto deste problema, uma avaliação recebe um grau de pertinência a um conjunto de notas, cujo suporte é definido por parâmetros estatísticos. É possível, por exemplo, que uma nota de valor absoluto “sete”, para um universo de valores entre “zero” e “dez”, represente um fraco desempenho em dada disciplina, enquanto uma nota “cinco” pode significar um ótimo desempenho relativo. Assim, é intuitivamente aceitável que as notas pertençam a conjuntos *fuzzy* diferentes, com graus de pertinência decorrentes da distribuição das notas em cada disciplina.

2.3 Sistema *Fuzzy* Baseado em Regras (SFBR)

Um SFBR é caracterizado por uma sequência de operações que se iniciam com um valor quantificado de entrada, até um valor de saída do sistema, também exato. A Figura 1 descreve a estrutura básica de um SFBR, com as operações que o constituem.

Figura 1 - Estrutura de um SFBR



Fonte: adaptado de Gavião, Lima e Sant’Anna (2015)

Os parâmetros do SFBR selecionados para a aplicação desta pesquisa foram os básicos utilizados em lógica *fuzzy*. O método de inferência escolhido foi o Mamdani. Esse método foi popularizado nas mais diversas aplicações da lógica *fuzzy* (FAZZOLARI et al., 2013). O método Mamdani explora valores “min-max” em uma sequência de operações lógicas para a ativação das regras de inferência, conferindo agilidade aos algoritmos *fuzzy* (MAMDANI, 1974; MAMDANI; ASSILIAN, 1975; ZADEH, 1973). A interseção de variáveis foi efetuada por valor “mínimo” dentre os analisados. O operador lógico de união de variáveis selecionou o valor “máximo” dentre os analisados. O método de implicação dos antecedentes das regras de

inferência utilizou o grau de pertinência “mínimo” dentre os conjuntos *fuzzy* analisados. O método de agregação dos consequentes selecionou os valores de suporte máximos, dentre as regras de inferência ativadas. Por fim, o método de defuzzyficação foi por centróide do polígono resultante da agregação dos consequentes. As informações essenciais sobre o funcionamento dessas etapas de um SFBR podem ser aprofundadas em Ross (2009).

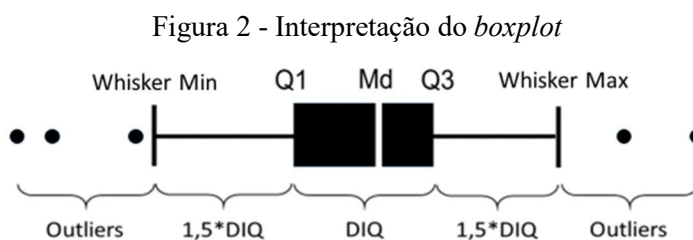
2.4 Método Combs

O método Combs tem por finalidade reduzir o elevado número de regras de inferência em SFBR com múltiplas variáveis, quando essas regras são conectadas por operadores de interseção (i.e. “e”). A partir de equivalências lógicas com sentenças conectadas por operadores de união (i.e. “ou”), Combs & Andrews (1998) provaram que as regras configuradas por interseção (IRC), potenciais geradoras das chamadas “explosões combinatórias”, podem ser substituídas por regras configuradas por união (URC), sem prejuízo aos resultados.

Para a modelagem *fuzzy* desta pesquisa, o uso do método Combs foi significativo para simplificar o esforço humano e computacional. Sob uma estrutura IRC, por exemplo, as oito disciplinas com sete conjuntos *fuzzy* gerariam uma quantidade de 7^8 regras de inferência para abranger o universo de combinações das variáveis, nesse caso, um resultado de 5.764.801 regras. Por URC, o mesmo resultado do SFBR foi obtido com 53 regras, conforme pode ser verificado no Apêndice II.

2.5 Estatística Descritiva e *Boxplots*

As medidas de posição oriundas da estatística descritiva auxiliaram na abordagem relativa dos desempenhos acadêmicos. O gráfico *boxplot* de Tukey (1970) orientou a elaboração dos conjuntos *fuzzy* para cada disciplina do problema. As variáveis linguísticas que definem qualitativamente os conjuntos *fuzzy* foram estabelecidas com base nas cinco medidas de posição definidas pelo *boxplot* (i.e. “Whisker Min”, “Q1”, “Md”, “Q3” e “Whisker Max”), conforme a Figura 2.



Fonte: Adaptado de Tukey (1970)

Na Figura 2 é possível verificar que os “whiskers” definem os valores iniciais das regiões de “outliers”. Tukey (1970) convencionou o posicionamento desses valores a partir de 1,5 vezes a distância interquartílica (DIQ), definida a partir da diferença entre os valores do 3º (“Q3”) e 1º quartis (“Q1”). A mediana (“Md”) indica a posição do 2º quartil. A essa estrutura do *boxplot* são ainda adicionados os valores limites da escala de notas do problema (i.e. “zero” e “dez”), para servirem de referência à elaboração dos conjuntos *fuzzy*, conforme abordado na Seção 4.3.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa seguiu a metodologia apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Metodologia da pesquisa



Fonte: Adaptado de Gavião, Lima e Sant’Anna (2015)

Na Etapa 1, a base de dados com notas nas diversas disciplinas foi coletada em uma universidade, sendo mantida a confidencialidade da fonte. Na Etapa 2 foram extraídos os parâmetros dos *boxplots* para cada disciplina, utilizados como referências na Etapa 4. A Etapa 5 concluiu a base de conhecimento do sistema *fuzzy*, modelado na etapa seguinte no software “R”. Na última etapa os resultados foram obtidos e analisados. As seis etapas encontram-se desenvolvidas nas Seções seguintes.

4. APLICAÇÃO

4.1 Base de Dados

Tendo em vista a extensão de caracteres da base de dados com as notas dos 54 alunos em oito disciplinas, optou-se por disponibilizá-la em código “QR”, no Apêndice I.

4.2 Parâmetros dos *boxplots*

A Tabela 1 apresenta os parâmetros dos *boxplots*, por disciplina e a Figura 4 os gráficos com as respectivas distribuições dos dados. Os valores e imagens foram produzidos a partir da função “boxplot” do software “R” (R-CORE-TEAM, 2016).

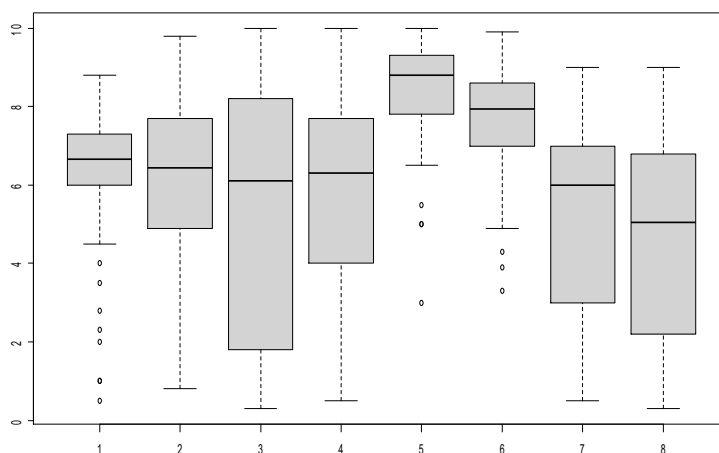
Tabela 1 - Parâmetros dos *boxplots* das disciplinas

	Whisker Min	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Whisker Max
Disciplina 1	4,5	6	6,65	7,3	8,8
Disciplina 2	0,8	4,9	6,45	7,7	9,8
Disciplina 3	0,3	1,8	6,1	8,2	10
Disciplina 4	0,5	4	6,3	7,7	10
Disciplina 5	6,5	7,8	8,8	9,3	10
Disciplina 6	4,9	7	7,95	8,6	9,9
Disciplina 7	0,5	3	6	7	9
Disciplina 8	0,3	2,2	5,05	6,8	9

Fonte: autores

Os valores dos “Whiskers Max” das disciplinas 3, 4 e 5 foram realçados. Esses valores equivalem aos limites superiores da escala de notas. Isto ocorreu porque as notas dessas disciplinas foram suficientemente altas e com significativa variância, tornando o valor equivalente a 1,5 vezes a “DIQ” igual ou superior ao limite da nota “10”. Isto pode ser visualizado na Figura 4, que descreve no eixo das ordenadas as oito disciplinas e no eixo das ordenadas as notas entre “zero” e “10”.

Figura 4 - Gráficos *boxplot* das disciplinas



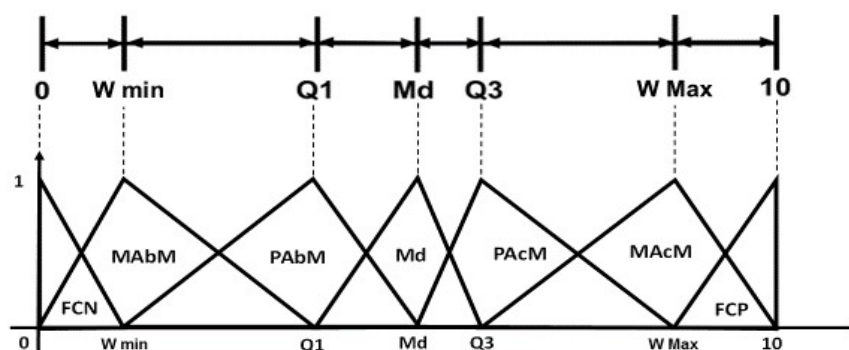
Fonte: autores

O topo das disciplinas 3, 4 e 5, na Figura 4, apresenta nota “10”. Em termos relativos, o “Whisker Max” em “10” torna impossível qualificar uma nota como *outlier* positivo, pois não existem notas acima desse valor. Nesse caso, essas disciplinas não apresentam alunos com desempenho excepcional. Isto faz sentido para a análise de mérito relativo e, sob o ponto de vista da lógica *fuzzy*, elimina o conjunto de notas “fora da curva”, conforme explorado na Seção 4.3. Este fenômeno também poderia ter ocorrido com o “Whisker Min” em “zero”, entretanto a distribuição das notas não permitiu eliminar o conjunto *fuzzy* de *outliers* negativos.

4.3 Criação dos Conjuntos *Fuzzy*

As sete referências indicadas na escala da Figura 5 equivalem às pertinências máximas das variáveis linguísticas criadas com base na teoria dos conjuntos *fuzzy*. Assim, uma nota “10” apresenta a máxima pertinência ao conjunto “Fora da Curva Positivo” (FCP), uma nota equivalente ao “Whisker Max” ao conjunto “Muito Acima da Mediana” (MAcM) e assim aos demais conjuntos “Pouco Acima da Mediana” (PAcM), “Mediana” (Md), “Pouco Abaixo da Mediana” (PAbM), “Muito Abaixo da Mediana” (MAbM) e “Fora da Curva Negativo” (FCN).

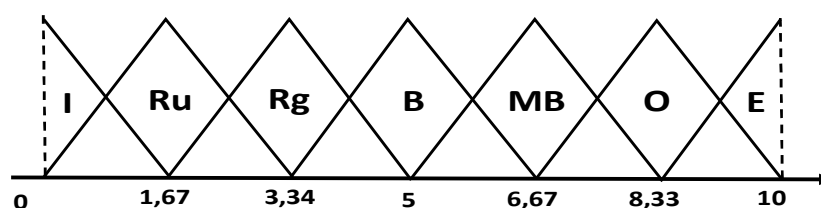
Figura 5 - Conjuntos *Fuzzy* dos Inputs



Fonte: adaptado de Gavião, Lima e Sant’Anna (2015)

Os conjuntos *fuzzy* de saída do SFBR foram distribuídos de forma equitativa, com a finalidade de evitar qualquer tipo de ponderação sobre as pertinências já distribuídas nos conjuntos *fuzzy* de entrada.

Figura 6 - Conjuntos *Fuzzy* dos Outputs



Fonte: Gavião, Lima e Sant’Anna (2015)

Na Figura 6, verifica-se que o valor “dez” foi dividido nas seis faixas do eixo horizontal, definindo os conjuntos “Excepcional” (E), “Ótimo” (O), “Muito Bom” (MB), “Bom” (B), “Regular” (Rg), “Ruim” (Ru) e “Insuficiente” (I).

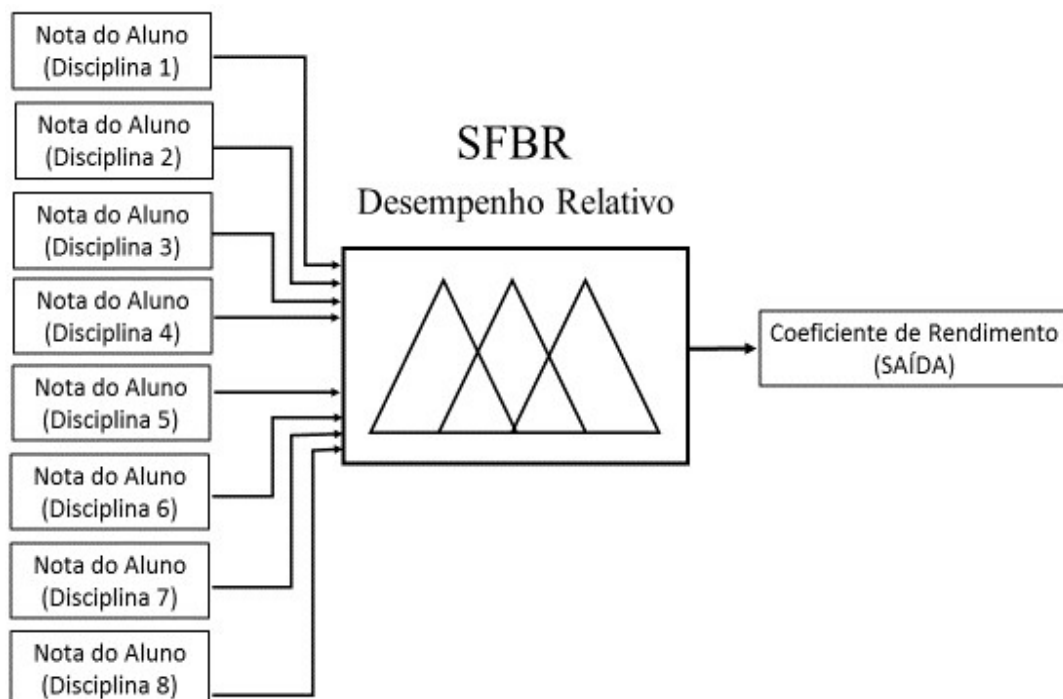
4.4 Regras de Inferência por Método Combs

Por necessidade de constrição do texto, as regras de inferência e o restante da modelagem do SFBR em linguagem “R” encontram-se em arquivo codificado por imagem “QR”, no Apêndice II.

4.5 Entradas e Saídas do Sistema *Fuzzy*

A Figura 7 apresenta as variáveis do SFBR.

Figura 7 - Modelagem do SFBR



Fonte: autores

O SFBR apresenta oito variáveis de entrada, representadas pelas disciplinas do estudo de caso e uma variável de saída, que corresponde ao Coeficiente de Rendimento por mérito relativo.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 2 relaciona a sequência dos 54 alunos, com os respectivos resultados ordenados, a partir do modelo *fuzzy* e por médias aritméticas.

Tabela 2 - Resultados finais e rankings dos alunos

Alunos	Result. Fuzzy	Rank Fuzzy	Result. Médias	Rank Médias	Alunos	Result. Fuzzy	Rank Fuzzy	Result. Médias	Rank Médias
1	4,41	47	4,63	52	28	4,71	39	7,06	9
2	3,28	53	4,38	53	29	5,60	9	6,68	18
3	3,13	54	4,24	54	30	5,51	10	7,54	3
4	4,70	42	5,39	41	31	5,13	17	6,81	14
5	4,85	33	6,59	20	32	4,95	24	7,08	7
6	4,37	48	5,21	44	33	4,90	28	6,23	29
7	4,82	34	5,14	48	34	5,67	6	6,93	11
8	5,75	5	6,88	12	35	5,29	12	6,19	30
9	5,48	11	7,06	9	36	5,85	3	7,19	5
10	4,92	26	6,70	17	37	4,70	41	6,33	25
11	3,95	52	5,53	39	38	4,52	45	6,30	27
12	4,72	38	6,49	23	39	5,16	15	6,88	12
13	4,85	31	6,31	26	40	6,01	1	7,96	2
14	5,02	21	5,55	38	41	4,92	27	6,04	33
15	5,63	7	6,80	15	42	5,01	22	8,03	1
16	4,47	46	5,20	45	43	4,88	30	6,29	28
17	4,94	25	4,65	51	44	4,71	40	6,14	31
18	5,60	8	6,41	24	45	4,89	29	5,88	36
19	5,16	16	6,53	22	46	5,11	18	6,01	34
20	4,81	35	4,96	50	47	4,57	44	5,76	37
21	4,77	36	5,34	42	48	5,22	13	6,60	19
22	4,28	49	5,49	40	49	4,16	50	5,18	46
23	4,77	37	5,03	49	50	5,86	2	7,06	9
24	5,17	14	6,55	21	51	5,82	4	7,13	6
25	4,60	43	5,93	35	52	5,10	20	7,35	4
26	4,13	51	6,11	32	53	4,99	23	6,75	16
27	5,10	19	5,33	43	54	4,85	32	5,14	48

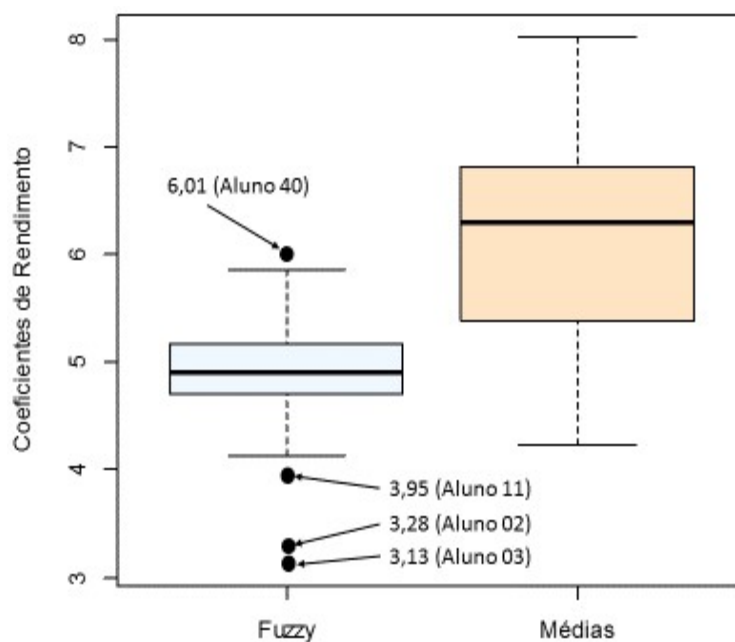
Fonte: autores

Na Tabela 2 foram destacados para análise os resultados dos alunos 2, 3, 11, 40 e 42. Esses alunos, à exceção do 42, foram identificados como *outliers* na avaliação de desempenho relativo, conforme descreve a Figura 8. O aluno 42 foi selecionado por ter obtido a melhor média aritmética, embora represente apenas o 22º lugar por mérito relativo.

Na abordagem tradicional, por média aritmética, provavelmente o desempenho do aluno 11 não chamaria a atenção dos profissionais de educação, por ter obtido a 39ª média entre 54

alunos. Certamente a média de 5,53 desse aluno não indica um bom resultado, porém existem ainda 14 alunos com médias piores e que despertariam maior interesse dos educadores. Quanto ao desempenho do aluno 40, sua média 7,96 foi a segunda maior e provavelmente perderia um eventual prêmio acadêmico para o aluno 42, único com média superior a oito.

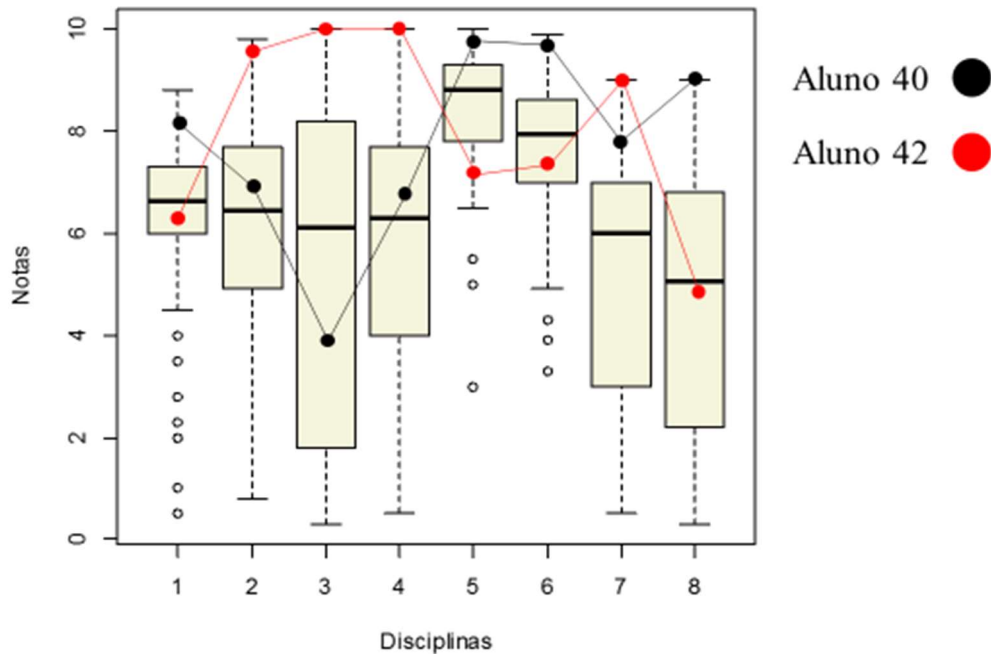
Figura 8 - Resultados do SFBR e por Médias



Fonte: autores

Entretanto, os resultados da modelagem *fuzzy* trouxeram informações valiosas que foram “mascaradas” no cálculo por médias. De fato, a Figura 8 mostra que existem quatro *outliers* dentre os 54 alunos, sendo um com desempenho excepcional e três alunos que, independentemente de aprovação no período letivo, requerem atenção especial da equipe pedagógica. Um dos fatores que contribuem para esse destaque se refere à reduzida DIQ dos resultados *fuzzy*, que aproximam os “whiskers” e, com isso, ressaltam *outliers* que normalmente não aparecem no cálculo por médias. Isto se explica pelo fato que, no SFBR com método Mandani, o processo de defuzzyficação produz resultados de saída com base em um polígono gerado nas operações de inferência. Sendo a defuzzyficação por centroide, o valor final tende a aproximar-se do centro do polígono, gerando assim valores próximos entre si. Mesmo em processos diferentes de defuzzyficação, as saídas também recebem valores centralizados e o fenômeno do aparecimento de *outliers* se repete.

Figura 9 - Comparação dos Resultados dos Alunos 40 e 42



Fonte: autores

Uma análise específica sobre os alunos 40 e 42 permite verificar a utilidade do modelo SFBR para indicar o mérito relativo. As notas dos alunos 40 e 42 encontram-se identificadas na Figura 9. O aluno 40 obteve nas disciplinas 1 a 8, respectivamente, as notas: 8,2; 6,7; 3,9; 8,8; 9,6; 9,7; 7,8 e 9. O aluno 42 obteve as seguintes notas: 6,3; 9,7; 10; 10; 7; 7,5; 9 e 4,7. Nessa comparação paritária, observa-se que ambos foram superiores em quatro disciplinas.

Entretanto, o aluno 40 obteve melhores notas nas três disciplinas (i.e. 1, 5 e 6) com menor DIQ. Esta diferença de desempenho foi suficiente para compensar e ampliar sua vantagem em relação às disciplinas em que o aluno 42 foi superior. Este, por sua vez, teve bom desempenho em disciplinas com menor “valor”, tendo em vista que vários alunos também foram bem-sucedidos com boas notas, “alargando” o *boxplot*. Dessa forma, o aluno 40 não se destaca unicamente por apresentar a melhor nota da modelagem *fuzzy*, mas principalmente, por ser um *outlier* e merecer uma atenção especial dos educadores, assim como os alunos 2, 3 e 11.

Por fim, cabe menção especial ao seguinte critério de verificação do rendimento escolar, conforme determina a legislação brasileira: “avaliação contínua e cumulativa do desempenho do aluno, com prevalência dos aspectos qualitativos sobre os quantitativos e dos resultados ao longo do período sobre os de eventuais provas finais” (BRASIL, 1996). Nesse caso, a

modelagem *fuzzy* mostrou relevância ao proporcionar informações qualitativas não identificadas com o método tradicional.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve por finalidade avaliar o desempenho acadêmico por modelagem *fuzzy*. Foi desenvolvido um SFBR, a partir dos parâmetros básicos utilizados em lógica *fuzzy*. A pesquisa apoiou-se em modelagem anterior dos autores, com modificações significativas. O sistema recebeu nova base de dados, a partir de notas reais dos alunos de uma universidade apoiadora da pesquisa. O sistema de regras contemplou a conversão direta para o novo CR, sem o uso de médias. O processo sofreu análises gráficas aperfeiçoadas, a partir do uso do software “R”. O método Combs, embora empregado em ambos os estudos, foi essencial para esta pesquisa, por proporcionar uma economia computacional de milhares de regras de inferência.

Sob o ponto de vista pedagógico, a proposta mostrou-se relevante ao trato de alunos com desempenho *outlier*, tanto positivos quanto negativos. A abordagem relativa da modelagem *fuzzy*, em detrimento do desempenho absoluto por média aritmética, permitiu identificar quatro alunos dentre os 54 que merecem atenção especial, principalmente em relação a três alunos com desempenho relativo insuficiente. A aplicação desta pesquisa mostrou como o mérito relativo privilegia a posição global do aluno no conjunto, enquanto a média tradicional valoriza o resultado absoluto.

Dentre possíveis propostas de estudos futuros, destaca-se a replicação da modelagem em conjunto com as avaliações de assistentes sociais das Instituições de Ensino, de forma a comparar as diferentes percepções acerca dos alunos que requerem atenção especializada. Sob o ponto de vista da modelagem *fuzzy*, sugere-se uma análise de sensibilidade em relação a outros parâmetros do SFBR, com variantes dos processos de inferência.

REFERÊNCIAS

- BABA, A. F.; CIN, F. M.; BAKANAY, D. A fuzzy system for evaluating students' project in engineering education. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 20, n. 2, p. 287–294, 2012.
- BONAMINO, A.; SOUSA, S. Z. Três gerações de avaliação da educação básica no. **Educação e Pesquisa**, v. 38, n. 2, p. 373–388, 2012.
- BOONGOEN, T.; SHEN, Q.; PRICE, C. Fuzzy Qualitative Link Analysis for Academic Performance Evaluation. **International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems**, v. 19, n. 3, p. 559–585, 2011.
- BRASIL. **Lei Nº 9.394 (20 dez 1996) - Lei de Diretrizes e Bases da Educação**, 1996.
- BRASIL. **Decreto Nº 5.622 (19 dez 2005) Regulamenta o Art. 80 da Lei de Diretrizes e Bases da Educação**, 2005.
- CASTRO, M. H. G. DE. Sistemas de avaliação da educação no Brasil: avanços e novos desafios. **São Paulo em Perspectiva, São Paulo, Fundação Seade**, v. 23, n. 1, p. 5–18, 2009.
- CHRYSAFIADI, K.; VIRVOU, M. Student modeling approaches: A literature review for the last decade. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 11, p. 4715–4729, 2013.
- COMBS, W. E.; ANDREWS, J. E. Combinatorial rule explosion eliminated by a fuzzy rule configuration. **Fuzzy Systems, IEEE Transactions on**, v. 6, n. 1, p. 1–11, 1998.
- FAZZOLARI, M. et al. A review of the application of multiobjective evolutionary fuzzy systems: Current status and further directions. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 21, n. 1, p. 45–65, 2013.
- GATTI, B. A. Avaliação de sistemas educacionais no Brasil. **Sísifo. Revista de Ciências da Educação**, n. 9, p. 7–18, 2009.
- GAVIÃO, L. O.; LIMA, G. B. A.; SANT'ANNA, A. P. Composição Relativa de Atributos Aplicada em Escalas de Desempenho Acadêmico. **Blucher Marine Engineering Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 25–36, 2015.
- GOKMEN, G. et al. Evaluation of student performance in laboratory applications using fuzzy logic. **Innovation and Creativity in Education**, v. 2, n. 2, p. 902–909, 2010.
- GOTTI, F. J. A. **Proposta de um Modelo de Avaliação de Desempenho de Alunos de uma IES utilizando a Inteligência Computacional [Tese de Doutorado]**. Universidade Paulista, 2013.
- MALVEZZI, W. R.; MOURÃO, A. B.; BRESSAN, G. **Uma ferramenta baseada em Teoria Fuzzy para o acompanhamento de alunos aplicado ao modelo de educação presencial mediado por tecnologia**. Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. **Anais...2010**
- MAMDANI, E. H. **Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant**. Proceedings of the Institution of Electrical Engineers. **Anais...IET**, 1974
- MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. **International journal of man-machine studies**, v. 7, n. 1, p. 1–13, 1975.
- MATEUS, G. P. et al. **Uma ferramenta de análise do desempenho de estudantes baseada em SMA e lógica Fuzzy**. Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. **Anais...2009**
- MOSSIN, E. A.; PANTONI, R. P.; BRANDÃO, D. **Sistema Fuzzy para avaliação de desempenho de alunos na área de automação industrial**. XVII Congresso Brasileiro de Automática. **Anais...2008**
- RASMANI, K. A. et al. Practicality issues in using fuzzy approaches for aggregating students'

academic performance. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 83, p. 398–402, 2013.

R-CORE-TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. <http://www.R-project.org> Vienna, Austria, 2016.

ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications**. John Wiley & Sons, 2009.

RUSMIARI, N. M.; PUTRA, K. G. D.; SASMITA, G. M. A. Fuzzy Logic Method for Evaluation of Difficulty Level of Exam and Student Graduation. **International Journal of Computer Science Issues**, v. 10, n. 2, p. 223–229, 2013.

TIAGO, G. M.; BARONI, M. P. M. A.; DA FONSECA, R. F. Avaliação discente: uma proposta utilizando a Lógica Fuzzy. **Revemat: Revista Eletrônica de Educação Matemática**, v. 9, n. 2, p. 87–109, 2014.

TUKEY, J. W. **Exploratory Data Analysis**. Addison-Wesley, 1970.

WILSON, R. E. **Uso de Lógica Difusa na Avaliação de Aprendizagem Multidisciplinar**. Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. **Anais...**2011

YADAV, R. S.; SONI, A. K.; PAL, S. **A study of academic performance evaluation using Fuzzy Logic techniques**. Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), 2014 International Conference on. **Anais...**2014

ZADEH, L. A. Information and control. **Fuzzy sets**, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.

ZADEH, L. A. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. SMC-3, n. 1, p. 28–44, 1973.

APÊNDICE I

Figura 10 - Base de dados em “QR code”



APÊNDICE II

Figura 11 - Programa em linguagem “R” em “QR code”

