



Uma Avaliação das Medidas de Associação e Risco Fuzzy

An Assessment of Association Measures and Fuzzy Risk

Una Evaluación de las Medidas de Asociación y el Riesgo Fuzzy

Ana Cláudia Oliveira de Melo¹, Laisa Ribeiro de Sá¹, Rodrigo Pinheiro de Toledo Vianna², Ronei Marcos de Moraes³

RESUMO

Descritores: Epidemiologia; Medidas de Análise de Risco; Teoria de Conjuntos Fuzzy

Objetivo: Apresentar de forma inédita o comportamento gráfico das medidas de associação e risco fuzzy calculadas com base em um estudo caso-controle simulado e a nova medida da “razão de prevalência fuzzy”. **Métodos:** Simulou-se as funções de pertinência associadas aos eventos de um estudo caso-controle e calculou-se as medidas de associação e risco fuzzy e seus respectivos gráficos. **Resultados:** O formato gráfico das curvas das medidas de associação e risco fuzzy para a um estudo caso-controle, revelaram que a *odds ratio fuzzy* estima satisfatoriamente a razão de risco fuzzy. **Conclusão:** A nova razão de prevalência fuzzy é usada nos estudos epidemiológicos de prevalência. No estudo caso-controle a *odds ratio fuzzy* estima satisfatoriamente a razão de risco fuzzy como ocorre nas medidas clássicas e as curvas das medidas fuzzy revelaram uma informação mais verossímil a respeito da relação entre o risco de exposição e o desfecho em estudo.

ABSTRACT

Keywords: Epidemiology; Risk Analysis Measures; Fuzzy Set Theory

Objective: To present in an unprecedented way the graphical behavior of the measures of association and fuzzy risk calculated based on a simulated case-control study and the new measure of the “fuzzy prevalence ratio”. **Methods:** The pertinence functions associated with the events of a case-control study were simulated and the measures of association and fuzzy risk and their respective graphs were calculated. **Results:** The graphical format of the curves of the measures of association and fuzzy risk for a case-control study, revealed that the fuzzy odds ratio satisfactorily estimates the fuzzy risk ratio. **Conclusion:** The new fuzzy prevalence ratio is used in epidemiological studies of prevalence. In the case-control study, the fuzzy odds ratio satisfactorily estimates the fuzzy risk ratio as seen in classical measures and the curves of fuzzy measures revealed more credible information regarding the relationship between the risk of exposure and the outcome under study.

RESUMEN

Descriptores: Epidemiología; Medidas de análisis de riesgos; Teoría de conjuntos fuzzy

Objetivo: Presentar de manera inédita el comportamiento gráfico de las medidas de asociación y riesgo difuso calculadas a partir de un estudio de casos y controles simulado y la nueva medida de la “razón de prevalencia difusa”. **Métodos:** Se simularon las funciones de pertinencia asociadas a los eventos de un estudio de casos y controles y se calcularon las medidas de asociación y riesgo difuso y sus respectivas gráficas. **Resultados:** El formato gráfico de las curvas de las medidas de asociación y riesgo difuso para un estudio de casos y controles, reveló que la razón de probabilidades difusa estima satisfatoriamente la razón de riesgo difusa. **Conclusión:** La nueva razón de prevalencia difusa se utiliza en estudios epidemiológicos de prevalencia. En el estudio de casos y controles, la razón de probabilidades difusa estima satisfatoriamente la razón de riesgo difusa como se ve en las medidas clásicas y las curvas de las medidas difusas revelaron información más creíble con respecto a la relación entre el riesgo de exposición y el resultado en estudio.

¹ Doutoranda da Pós-graduação em Modelos de Decisão em Saúde, Centro de Ciências Exata e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa (PB), Brasil.

² Professor PhD do Departamento de Nutrição, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa (PB), Brasil.

³ Professor PhD do Departamento de Estatística, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa (PB), Brasil.

INTRODUÇÃO

As medidas de associação e risco quantificam a possibilidade de doença na população exposta a fatores ambientais ou hábitos pessoais (fator de exposição)⁽¹⁾. As previsões e estimativas geradas pelos modelos e medidas obtidos a partir das categorizações dicotômicas na epidemiologia, descartam informações atreladas às imprecisões e incertezas próprias da área. Técnicas que considerem essas imprecisões são importantes, pois são informações desconsideradas nos estudos clássicos, principalmente quando se calcula as medidas de associação e risco na epidemiologia⁽²⁾.

Alguns autores⁽³⁻⁴⁾ destacam, que a prática de erros de categorização, oriundos de subjetividades e incertezas causam problemas generalizados nas medidas epidemiológicas. Portanto alternativas que considerem incorporar o máximo de informação possível ao cálculo das medidas epidemiológicas, são bem vindas. Neste caso a Teoria de conjuntos *fuzzy*⁽⁵⁾ é apropriada por considerar com elegância as nuances das transições nestes processos de doença e não doença ou exposição e não exposição, presentes na categorização dos estudos epidemiológicos⁽⁶⁾.

Metodologias que avaliem os níveis de exposição e doença nos estudos epidemiológicos são importantes, visto que são estes valores que confirmam associações entre os fatores de risco e doença na população⁽⁷⁾. Os estimadores propostos a partir da teoria *fuzzy* consideram, nos seus cálculos, as informações oriundas das transições na categorização dos indivíduos nos eventos da epidemiologia. Essa teoria aceita casos em que não é possível definir facilmente os diferentes níveis de doença ou exposição sofridos pelo indivíduo⁽⁶⁾, considerando as imprecisões inerentes às informações epidemiológicas quando se trata das medidas de risco e seus estimadores⁽⁸⁾. Diferente do conjunto clássico o conjunto *fuzzy* associa uma função de pertinência, que varia no intervalo de zero a um, para cada indivíduo da população em estudo⁽⁹⁾. Logo se o estudo tem quatro eventos, cada indivíduo terá um conjunto de quatro graus de pertinência, permitindo assim registrar a transição do indivíduo nos eventos de exposto/não exposto e doente/não doente.

Para usar essa metodologia o especialista deve dispor de possibilidades capazes de determinar os graus de exposição e doença sofridos pelo indivíduo. Alguns autores⁽¹⁰⁻¹¹⁾ afirmam que a experiência do especialista combinadas com análises de exames físicos, laboratoriais, sintomas clínicos e o histórico médico para a construção do diagnóstico da doença permitem obter essa informação. Enfermeiros e cuidadores capacitados para registrar mudanças sutis nas condições dos pacientes,

podem fornecer indícios que auxiliam a essa informação podendo ser auxiliados inclusive por algoritmos baseados em lógica *fuzzy*⁽¹²⁻¹³⁾.

Assim em 2003 Massad⁽⁸⁾ propôs as equações das medidas de associação e risco *Fuzzy Risk Ratio (FRR)* e *Fuzzy Odds Ratio (FOR)* combinando Teoria de conjuntos *fuzzy* e Teoria de possibilidade⁽¹⁴⁾. Entretanto não houve, até então, qualquer estudo revelando o comportamento gráfico destas medidas aplicadas a um estudo epidemiológico, o avanço na proposição de novas medidas ou a verificação de que *FOR* estima satisfatoriamente *FRR* como acontece nas medidas clássicas. Este estudo propõe-se a preencher essa lacuna teórica.

Objetiva-se neste artigo apresentar de forma inédita o comportamento gráfico das medidas *fuzzy* calculadas com base em um estudo caso-controle simulado, confirmar que a *FOR* estima satisfatoriamente a *FRR*, para este delineamento, e apresentar a nova medida *Fuzzy Prevalence Ratio (FRP)*.

Para isso apresenta-se, a construção das medidas já propostas *FRR* e *FOR* destacando a nova medida *FRP*. Simula-se um estudo caso-controle e calcula-se as medidas *fuzzy* com seus respectivos gráficos de comportamento. Por fim, compara-se o diferencial da informação das medidas *fuzzy* com as medidas clássicas e mostra-se que a *FOR* estima satisfatoriamente a *FRR* no estudo simulado de caso-controle e doenças pouco frequentes como nos estudos clássicos.

Espera-se que o conhecimento do comportamento e uso destas medidas venha agregar mais informação para os pesquisadores e decisores da área de saúde nas suas tomadas de decisões.

METODOLOGIA

As medidas *fuzzy* podem ser aplicadas a qualquer estudo epidemiológico do tipo observacional, desde que, o especialista seja capaz de determinar os graus de exposição e doença sofridos pelo indivíduo em estudo. Para efeito de comparação das estimativas *FRR* e *FOR*, considerou-se neste artigo um delineamento caso-controle para doenças pouco frequentes.

Estudo Caso-controle

No delineamento caso-controle, os indivíduos de uma mesma população em estudo são divididos em dois grupos: grupo dos casos são os indivíduos que possuem a doença e o grupo dos controles, indivíduos que não possuem a doença⁽¹⁵⁾. Após a amostragem investiga-se, em cada grupo, se no passado ocorreu exposição a fatores

Tabela 1 – Frequências observadas para o cálculo das Medidas de Risco

Fator	Desfecho		Total
	Doentes (<i>D</i>)	Não Doentes (\bar{D})	
Expostos (<i>E</i>)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>
Não Expostos (\bar{E})	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>c + d</i>
Total	<i>a + c</i>	<i>b + d</i>	<i>a + b + c + d</i>

Fonte: Rothman⁽¹⁵⁾

de risco, em maior ou menor frequência entre casos do que nos controles⁽¹⁵⁾. As informações são organizadas em tabelas 2x2 como mostrado na Tabela 1.

Como a incidência da doença já é conhecida, é possível calcular as probabilidades de incidência por meio das probabilidades condicionais. A Tabela 2 apresenta as probabilidades condicionais associadas às caselas da Tabela 1. É necessário a compreensão destas probabilidades para a construção das medidas $fuzzy$ adiante. Assim $p(D/E) = \alpha/(\alpha+b)$ é a probabilidade dos indivíduos da casela “ α ” (Tabela 1) estarem doentes sabendo que foram expostos. O mesmo raciocínio segue para as demais caselas.

Tabela 2 – Probabilidades condicionais observadas.

Fator	Desfecho	
	Doentes (D)	Não Doentes (\bar{D})
Expostos (E)	$p(D/E)$	$p(\bar{D}/E)$
Não Expostos (\bar{E})	$p(D/\bar{E})$	$p(\bar{D}/\bar{E})$

Fonte: Proposta pelo autor.

Medidas de Associação e Risco Clássicas: Razão de Risco

A razão de risco (RR) ou risco relativo, indica quantas vezes o fator de risco é maior entre os indivíduos expostos comparado aos não expostos, indicando a associação do desfecho em relação ao fator que o provoca. A RR é calculada pela razão do número de casos no grupo exposto e o número de casos no grupo não exposto. Tomando-se como base as Tabelas 1 e 2 respectivamente, a RR é dado por⁽¹⁵⁾:

$$RR = \frac{\text{risco da doença nos expostos}}{\text{risco da doença nos não expostos}} = \frac{\frac{a}{a+b}}{\frac{c}{c+d}} = \frac{p(D/E)}{p(D/\bar{E})}. \quad (1)$$

Sua magnitude informa as seguintes situações: i) Se $RR = 1$, não há evidência de associação entre a exposição e o desfecho; ii) Se $RR < 1$, a associação é negativa e indica que há evidência de um efeito protetor da exposição; iii) Se $RR > 1$, a associação é positiva, ou seja, há evidência de um efeito de risco do fator de exposição⁽¹⁵⁾.

Razão de Prevalência

Alguns estudos, como no delineamento transversal, o interesse é medir a prevalência em lugar da incidência, e neste caso usa-se a razão de prevalência (RP)⁽¹⁵⁾. A fórmula segundo as probabilidades condicionais para o cálculo da RP é semelhante à equação da RR:

$$RP = \frac{\text{risco de prevalência nos expostos}}{\text{risco de prevalência nos não expostos}} = \frac{\frac{a}{a+b}}{\frac{c}{c+d}} = \frac{p(D/E)}{p(D/\bar{E})}. \quad (2)$$

Odds Ratio

No delineamento caso-controle sabe-se que o indivíduo está doente “ou não” e necessita-se investigada a exposição. Neste caso a *odds ratio* (OR) ou razão de chances é o melhor estimador da RR quando a doença é pouco frequente⁽¹⁵⁾. Ela informa se a chance de desenvolver a doença entre os indivíduos expostos é maior ou menor que entre os indivíduos não expostos e de

acordo com as Tabelas 1 e 2 é definida em termos de probabilidades condicionais como segue:

Assim se a $OR=1$ não existe associação entre exposição e doença; se $OR>1$ a chance de adoecer aumenta entre os expostos (associação positiva) e por último se $OR<1$ a exposição diminui a chance de adoecer (associação negativa)⁽¹⁵⁾. Lembra-se que a OR deve ser usada em estudos de acordo com o objetivo e restrições teóricas.

Teoria de Conjuntos Fuzzy

A teoria de conjuntos $fuzzy$ categoriza o elemento de forma mais flexível ao conjunto em questão considerando todas as subjetividades por meio de uma função que associa um grau de pertinência ao elemento do conjunto $fuzzy$. Essa teoria é definida da seguinte forma⁽⁵⁾: um conjunto $fuzzy$ de um universo X pode ser definido por uma função de pertinência ($\mu_A(\chi)$) como:

$$\mu_A(x): X \xrightarrow{x \in X} [0,1], \quad (4)$$

onde “ $\mu_A(\chi)=1$ ” indica que “ χ ” pertence completamente ao conjunto A; “ $\mu_A(\chi)=0$ ” indica que “ χ ” não pertence ao conjunto A; por fim “ $0 < \mu_A(\chi) < 1$ ” indica que podem existir graus de pertinência parciais para “ χ ” entre os valores 0 e 1.

No contexto epidemiológico: x é a população observada. O elemento χ é o indivíduo da população. A função de pertinência $\mu_A(\chi)$ indica o grau de pertinência do elemento χ ao conjunto A que pode ser um dos eventos do estudo epidemiológico: expostos, não expostos, doentes ou não doentes. Cada indivíduo χ tem um vetor de informações com os graus de pertinência referentes a cada um dos eventos $fuzzy$.

Teoria de Possibilidade

Com a argumentação de que a medida $fuzzy$ não é uma medida de probabilidade e sim de possibilidade⁽¹⁶⁾, Massad⁽⁸⁾ propõe que as medidas de risco sejam calculadas em termos de possibilidades relativas condicionais. Zadeh⁽¹⁶⁾ mostra que se A é um conjunto $fuzzy$, a função de possibilidade “r” associada a ele é igual a sua função de pertinência $\mu_A(\chi)$:

$$r(x) = \mu_A(x), \quad \forall x. \quad (5)$$

De forma que a medida de possibilidade denominada de “ Π ” do conjunto $fuzzy$ A, será calculada pelo valor máximo da função r(x) ou $\mu_A(\chi)$ para qualquer “ χ ”⁽¹⁴⁾, ou seja:

$$\Pi(A) = \max_{x \in A} r(x). \quad (6)$$

No contexto epidemiológico temos que X é a população em estudo, logo “ χ ” é o indivíduo que pertence à população ($\chi \in X$). D e E são eventos (subconjuntos) $fuzzy$ do tipo doente (D) e exposto (E) no estudo. Logo para calcular a medida de possibilidade condicional entre os dois conjuntos $fuzzy$ D e E teremos que⁽¹⁴⁾:

$$\Pi(D/E) = \max_{x \in X} [\min(\mu_D(x), \mu_E(x))] = \text{poss}(D/E). \quad (7)$$

Desse modo, para calcular a $\Pi(D/E)$ obtém-se primeiro o mínimo entre as duas funções de pertinência $\min(\mu_D(x), \mu_E(x))$ e depois obtém-se o $\max[\min(\mu_D(x), \mu_E(x))]$.

Medidas de Associação e Risco Fuzzy

Massad⁽⁸⁾ definiu o estimador *Fuzzy Risk Ratio* (FRR) baseada na equação (1) em termos das possibilidades relativas condicionais de incidência. É esperado, que ela seja proporcional a razão entre as possibilidades relativas condicionais como segue:

$$FRR \propto \frac{\text{poss}(D/E)}{\text{poss}(D/\bar{E})}. \quad (8)$$

Neste trabalho, propôs-se uma nova medida fuzzy para calcular a razão de prevalência (RP), denominada *Fuzzy Prevalence Ratio* (FPR). Ela é definida com base na equação (2) considerando as possibilidades relativas condicionais de prevalência (casos antigos) como segue:

$$FPR \propto \frac{\text{poss}(D/E)}{\text{poss}(D/\bar{E})}. \quad (9)$$

Usando-se o mesmo raciocínio para o cálculo das possibilidades, a FOR (*Fuzzy Odds Ratio*) foi definida por⁽⁹⁾:

$$FOR = \frac{\text{poss}(D/E) \wedge \text{poss}(\bar{D}/\bar{E})}{\text{poss}(D/\bar{E}) \wedge \text{poss}(\bar{D}/E)}, \quad (10)$$

onde o símbolo \wedge indica um operador de conjunção lógica “E”.

A associação indicada pela FOR determina que: se o $FOR > 1$ a associação é positiva entre a causa e o efeito, e se $FOR < 1$ a associação é negativa, o que revela um efeito de proteção do fator investigado.

O Modelo Logístico

Para calcular a probabilidade de adoecer relacionando a exposição e doença já se mostrou⁽¹⁷⁾ que o modelo logístico não só pode ser aplicado aos estudos de caso-controle, como do ponto de vista deste modelo, eles são equivalentes aos estudos prospectivos. Assim, para calcular a probabilidade P do indivíduo Y_i adoecer ($Y_i = 1$) quando se sabe a respeito da sua exposição ($X_i = 1$ ou 0) ao fator investigado, estima-se desta forma⁽¹⁷⁾:

$$P(Y_i = 1/X_i) = \frac{\exp(X_i\beta)}{1 + \exp(X_i\beta)}, \quad (11)$$

onde: $\beta = [\beta_0, \beta^1, \dots, \beta_k]$ é um vetor de parâmetros desconhecidos estimados a partir dos dados observados. A quantidade e^{β^i} , $\forall i=1,2, \dots, k$, representa o *Odds Ratio* de ocorrência do desfecho.

A Simulação dos Dados Fuzzy

Para observar o comportamento dos estimadores FOR e FRR, em estudos de caso-controle, usou-se como ponto

de partida o exemplo proposto por Massad⁽⁸⁾ da seguinte forma: gerou-se 1000 valores individuais cada um simulando um indivíduo com seus respectivos graus de pertinência, para os eventos exposto/não exposto e doente/não doente. Para isso usou-se o *software* R nas simulações, cálculos e gráficos.

Os valores da função de pertinência para o subconjunto fuzzy exposto ($\mu_E(x)$), seguiram uma distribuição uniforme, no intervalo [0,001 a 0,999], visto que nenhum indivíduo está completamente exposto ou imune ao fator de exposição. Sendo assim, obteve-se os valores para a função de pertinência do subconjunto não exposto aplicando o operador de complemento, ou seja, $\mu_{\bar{E}}(x) = 1 - \mu_E(x)$.

Para o subconjunto fuzzy doente ($\mu_D(x)$) associou-se a função de pertinência de exposição e gerou-se seus valores segundo um modelo logístico como segue:

$$\mu_D(x) = \frac{\exp(\beta\mu_E(x))}{1 + \exp(\beta\mu_E(x))}, \quad (12)$$

onde: a magnitude dos valores do vetor β indicam a intensidade da exposição sofrida.

Simulou-se os valores do vetor β , no intervalo [-5, 5]. Para valores negativos ($\beta < 0$) o termo $0 < \exp \beta < 1$, indica um fator de proteção; para valores nulos ($\beta=0$) o termo $\exp \beta=1$, indica a ausência de associação e para valores positivos ($\beta > 0$) o termo $\exp \beta > 1$, indica um fator de risco. Por fim obteve-se os valores para a função de pertinência não doente com a aplicação do operador complemento $\mu_{\bar{D}}(x) = 1 - \mu_D(x)$.

Calculou-se cada possibilidade condicional através da equação (7) e os valores dos estimadores FRR e FOR foram calculados respectivamente por suas equações (8 e 10) para cada um dos 1000 valores, fixos do vetor β . A partir dos valores simulados, categorizou-se cada indivíduo na tabela (2 x 2), necessária para o cálculo das medidas clássicas e gerou-se os gráficos das medidas fuzzy.

A Categorização dos Valores Simulados

Para categorizar os valores simulados e montar a tabela 2x2 clássica, estabeleceu-se uma regra de limitação exata entre os graus de pertinência das funções doente e exposto respectivamente ($\mu_D(x)$ e $\mu_E(x)$). Assim determinou-se que seria razoável considerar como doente e exposto respectivamente os indivíduos que apresentassem graus de pertinência a partir de 0.95 ($\mu_D(x) \geq 0.95$ e $\mu_E(x) \geq 0.95$). Desta forma realizou-se as regras de classificação nas caselas na Tabela 1 (seção 2.1) como segue:

Portanto, classificou-se na casela “a” na tabela 2x2 os indivíduos com valores da função $\mu_D(x) \geq 0.95$, sabendo que sua função $\mu_E(x) \geq 0.95$. Neste mesmo raciocínio lógico, seguem as classificações para as caselas “b”, “c”, e “d” da tabela em questão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise clássica dos resultados

As medidas de associação e risco clássicas RR e OR

$$a = n^{\circ} \text{ de indivíduos } (D/E) \rightarrow n^{\circ} \text{ de indivíduos } (\mu_D(x) \geq 0.95 / \mu_E(x) \geq 0.95). \quad (13)$$

para os valores da Tabela 3 foram baseadas nas equações 1 e 3 respectivamente. A razão de risco ($RR = 4.3$) é maior que 1 indicando que o fator de exposição é de risco, e sendo assim, o risco de adoecer entre os expostos é 4,3 vezes maior que nos não expostos. Já a *Odds Ratio* ($OR = 4.8$) indica que a chance do indivíduo exposto ao risco desenvolver a doença é 4,8 vezes maior que entre os não expostos. Observa-se que a *OR* estima a *RR* de forma satisfatória para o estudo do tipo caso-controlado quando a doença é pouco frequente.

Análise das medidas fuzzy

As análises das medidas epidemiológicas fuzzy de associação e risco, foram possíveis devido ao ineditismo da geração dos gráficos das curvas referentes a cada medida que associa os graus de exposição e adoecimento, da população observada, expressados por meio das funções de pertinência. O que antes era analisado por apenas um valor numérico (medidas clássicas) passa a ser analisado como uma curva que incorpora as subjetividades, desconsideradas na categorização clássica, possibilitando fazer leituras mais completas do estudo.

As Estimativas das Medidas Fuzzy

Os gráficos na Figura 1 apresentam o comportamento dos valores das medidas fuzzy *FOR* e *FRR* que mensuram a associação e risco, definidas nas equações (10) e (8), respectivamente. É possível observar, nos gráficos (a) e (b) que comparam os valores da *FOR* e *FRR*, que as duas medidas crescem de acordo com a intensidade da exposição ao fator em estudo (valores do β). Confirma-se assim, que a *FOR* estima satisfatoriamente a *FRR* como nas medidas clássicas para este tipo de estudo. Ainda na Figura 1 os gráficos (c) e (d) sofreram mudanças nos valores das escalas dos eixos para mostrar um recorte nas curvas das medidas *FOR* e *FRR*, permitindo identificar os valores das medidas clássicas ($OR = 4.8$ e $RR = 4.3$). Percebe-se então o diferencial de informação entre os dois tipos de medidas e o quanto as medidas de risco fuzzy podem complementar a informação final do estudo. Os valores negativos do parâmetro β para a *FOR* e *FRR* aumentam suavemente revelando um efeito de proteção corroborando com as medidas clássicas. Para valores do β maiores que zero, o efeito é de risco. As medidas *FOR*

Tabela 3 – Frequências dos valores simulados para o cálculo das Medidas de Risco

	Desfecho		Total
	Doentes (D)	Não Doentes (\bar{D})	
Expostos (E)	06	35	41
Não Expostos (\bar{E})	33	926	959
Total	39	961	1000

Fonte: Dados simulados.

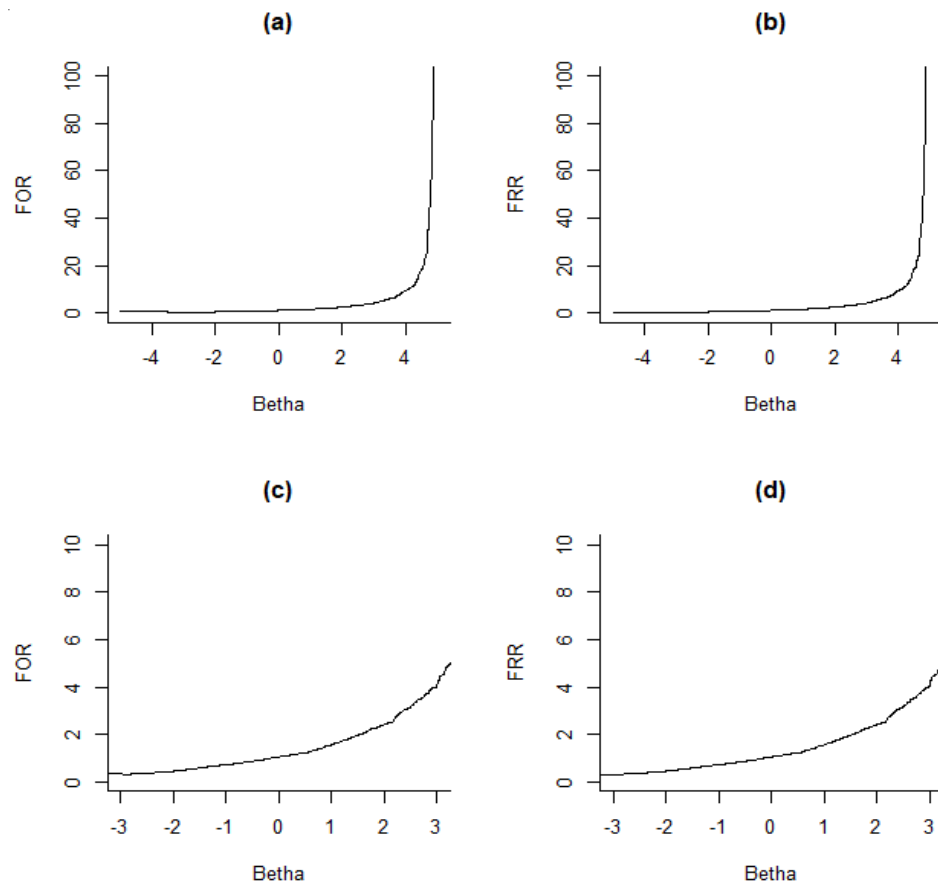


Figura 1 - Curvas da *FOR* (gráficos (a) e (c)) e *FRR* (gráficos (b) e (d)) para valores do parâmetro Beta simulados

e *FRR*, aumentam suavemente até os valores do β próximos a 2 (dois) e a partir desse valor o crescimento é mais acentuado, revelando que o aumento da intensidade da exposição ao fator de risco aumenta exponencialmente as medidas.

Em síntese, a introdução da medida de incerteza, inerente aos estudos epidemiológicos por meio das medidas de associação e risco *fuzzy* na epidemiologia, contribui na qualidade da informação final do estudo.

CONCLUSÃO

As equações das medidas de associação e risco *fuzzy* *FRR* (*Fuzzy Risk Ratio*) e *FOR* (*Fuzzy Odds Ratio*) foram propostas em 2003. Desde então não houve nenhum estudo aplicando estas medidas em um estudo epidemiológico mostrando seu comportamento gráfico; não foi verificado se *FOR* estima satisfatoriamente *FRR* e nenhuma nova

medida epidemiológica *fuzzy* foi introduzida.

Neste artigo definiu-se a nova medida *FRP* que mensura a razão de prevalência *fuzzy* indicada para delineamentos onde os casos são prevalentes. Apresentou-se de forma inédita o comportamento gráfico das medidas de associação e risco *fuzzy* *FRR* e *FOR* no contexto de estudos caso-controle para doenças pouco frequentes. Por fim, comprovou-se que a *FOR* estima satisfatoriamente a *FRR* como acontece com as respectivas medidas clássicas ineditamente.

A informação antes resumida a um valor numérico, ganha a contribuição da curva que revela a associação segundo a evolução do processo de exposição e adoecimento do indivíduo. Espera-se contribuir para que pesquisadores e decisores possam observar situações em que o ponto da curva referente a dose de exposição sofrida pelo indivíduo, informe a possível dose resposta da doença, auxiliando a tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

1. Robert Beaglehole, R. Bonita TK. *Epidemiologia Básica*. 2ª. 1. Santos Editora; 2010.
2. Ferson S, Ginzburg LR. Different methods are needed to propagate ignorance and variability. *Reliab Eng Syst Saf* [Internet]. 1996 Nov;54(2–3):133–44. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0951832096000713>
3. Walter SD, Irwig LM. Estimation of test error rates, disease prevalence and relative risk from misclassified data: a review. *J Clin Epidemiol*. 1988;41(9):923–37.
4. Vogel C, Brenner H, Pfahlberg A, Gefeller O. The effects of joint misclassification of exposure and disease on the attributable risk. *Stat Med*. 2005;24(12):1881–96.
5. Zadeh LA. Fuzzy sets. *Inf Control* [Internet]. 1965 Jun;8(3):338–53. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001999586590241X>
6. Sadegh-Zadeh K. Fuzzy health, illness, and disease. *J Med Philos*. 2000;25(5):605–38.
7. Blanes-Vidal V, Cantuaria ML, Nadimi ES. A novel approach for exposure assessment in air pollution epidemiological studies using neuro-fuzzy inference systems: Comparison of exposure estimates and exposure-health associations. *Environ Res* [Internet]. 2017;154(December 2016):196–203. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2016.12.028>
8. Massad E, Ortega NRS, Struchiner CJ, Burattini MN. Fuzzy epidemics. *Artif Intell Med* [Internet]. 2003 Nov;29(3):241–59. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0933365702000702>
9. Malmir B, Amini M, Chang SI. A medical decision support system for disease diagnosis under uncertainty. *Expert Syst Appl*. 2017;88:95–108.
10. Alam N, Gupta L, Shanmugam B. Islamic Deposits in Practice. In: *Islamic Finance* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2017. p. 79–130. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-66559-7_5
11. Hausmann D, Zulian C, Battgay E, Zimmerli L. Tracing the decision-making process of physicians with a Decision Process Matrix. *BMC Med Inform Decis Mak* [Internet]. 2016 Dec 18;16(1):133. Available from: <http://bmcmedinformdecismak.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12911-016-0369-1>
12. Al-Dmour JA, Sagahyroon A, Al-Ali A, Abusnana S. A fuzzy logic-based warning system for patients classification. *Health Informatics J* [Internet]. 2019 Sep 6;25(3):1004–24. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1460458217735674>
13. Gangavarapu T, Jayasimha A, Krishnan GS, S. SK. Predicting ICD-9 code groups with fuzzy similarity based supervised multi-label classification of unstructured clinical nursing notes. *Knowledge-Based Syst* [Internet]. 2020 Feb;190:105321. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950705119305982>
14. Dubois D, Prade H. *Possibility Theory*. 1988.
15. Rothman KJ, Greenland S, Lash TL, others. *Modern epidemiology*. Vol. 3. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins Philadelphia; 2008. 758 p.
16. Zadeh L. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets Syst* [Internet]. 1978 Jan;1(1):3–28. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0165011478900295>
17. Prentice RL, Pyke R. Logistic disease incidence models and case-control studies. *Biometrika* [Internet]. 1979;66(3):403–11. Available from: <https://academic.oup.com/biomet/article-lookup/doi/10.1093/biomet/66.3.403>