

Análise de curva ROC aplicada à psicologia da saúde: estímulo psicológico associado aos sintomas de diabetes e Covid-19

Autores:

Alicia Maria Antonino Gonzaga

Graduanda em Psicologia pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Edwirde Luiz Silva Camêlo

Doutor em Estatística e Investigação Operativa pela Universidade de Granada (UGR), professor associado da Universidade Estadual da Paraíba, com atuação nos Departamentos de Estatística e Psicologia e no Programa de Pós-Graduação em Psicologia da Saúde (PPGPS), sendo membro do grupo de pesquisa de Psicologia da Saúde (CNPq/UEPB)

DOI: 10.58203/Licuri.22562

Como citar este capítulo:

GONZAGA, Alicia Maria Antonino; CAMÊLO, Edwirde. Análise de curva ROC aplicada à psicologia da saúde: estímulo psicológico associado aos sintomas de diabetes e Covid-19. In: CHAVES, Marcelo Henrique Guedes (Org.). **Perspectivas e estudos emergentes em Ciências da Saúde**. Campina Grande: Licuri, 2024, p. 8-20.

ISBN: 978-65-85562-25-6

Resumo

O diagnóstico de uma psicopatologia é fundamental para um psicólogo para alcançar a escolha de um tratamento apropriado. No caso de um diagnóstico positivo, o profissional pode propor intervenções adequadas para o paciente; e, no caso de um diagnóstico negativo pode-se rejeitar a presença de condição e investigar no paciente outras possibilidades para o caso estudado. A curva ROC gerada a partir de um conjunto finito de respostas é uma função escalonada ou linear que se aproxima da verdadeira curva ROC quando o número de casos é infinito. Foram identificados pontos de sinais psicológicos para um melhor diagnóstico. Centralizando-se no campo da psicologia da saúde pode-se beneficiar da técnica para um aprofundamento no conhecimento dos sinais psicológicos diante de uma determinada enfermidade com sintomas a priori conhecidos. O ponto A (0,072; 0,127) e B (0,207; 0,184) correspondem aos pontos de corte da categoria definitivamente anormal para os sintomas psicológicos de ter diabetes e Covid-19. O ponto C = (0,207; 0,184) corresponde ao ponto de corte da categoria regular. Já o ponto D = (0,393; 0,363) corresponde ao ponto de corte da categoria provavelmente normal, e, portanto, o critério mais tolerante no que todos os pacientes são considerados para apresentar sintomas de diabetes e Covid-19, exceto os que responderam a resposta definitivamente normal.

Palavras-chave: Diagnóstico. Indicadores. Sinal Psicológico. Enfermidade.

INTRODUÇÃO

Em muitas tarefas empregadas na pesquisa da psicologia da saúde, algumas vezes, o pesquisador está interessado em determinar a precisão com que os enfermos respondem aos sinais psicológicos conhecidos em relação a uma enfermidade. Isso significa que existem critérios preestabelecidos que determinam se um indivíduo responde corretamente ou não ao comportamento diante da enfermidade.

A prática consiste no processo de tomada de decisão. Isso equivale, inicialmente, em responder à pergunta que se considera fundamental da prática psicológica: um procedimento funciona de fato ou se os resultados observados são meramente aleatórios?

O conhecimento psicológico, por sua vez, é consequência da síntese de informação, quase sempre devida a um número relativamente pequeno de indivíduos “iluminados”, com sabedoria suficiente para extrair conhecimento a partir das informações psicológicas disponíveis já conhecidas a priori. As informações (sinais) psicológicas em suma permitem a geração do conhecimento de dados gerados a partir de experimentos de natureza observacional ou populacional já conhecido na psicologia, esses conhecimentos podem ser gerados por profissionais em psicologias da saúde também.

O psicólogo procura sempre os resultados de sinais psicológicos observados na literatura de forma que pudesse ser interpretado por diferentes tipos de leitores, incluindo aqueles com escasso conhecimento em psicologia.

O entendimento psicológico ajuda a entender melhor as conclusões obtidas em diversos tipos de sinais psicológicos associados a uma específica enfermidade, e geralmente se busca com a representação dos sinais o reforço dos aspectos psicológicos mais destacáveis do enfermo, como se diz: “pelo fruto se conhece o tipo de árvore”, aqui os frutos são os sinais e a árvore conhecida uma enfermidade em si.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é buscar o entendimento psicológico de um indivíduo em relação a uma enfermidade. Desde um ponto de vista estrutural a tarefa consiste em indicar se um comportamento psicológico é específico ou não diante de uma doença. O estudo parte da análise do comportamento cognitivo de indivíduos, quando interligado com os sintomas de diabetes e do vírus da Covid-19.

METODOLOGIA

Matrizes confusão

Essa matriz permite a visualização do resultado de um processo de classificação. Cada linha dessa matriz representa as instâncias em uma classe prevista, enquanto cada coluna representa as instâncias em uma classe real (ou vice-versa). O nome deriva do fato de o processo de classificação estar confundindo as duas classes (ou seja, geralmente classificando incorretamente uma como outra). Como se fosse uma tabela de contingência de duas dimensões, uma real e a outra a prevista.

Tabela 1. Matriz confusão de estímulos psicológicos e respostas.

Respostas	Estímulos psicológicos	
	Presença do estímulo psicológico (PEP) em relação à Covid-19	Ausência do estímulo Psicológico (AEP) em relação à Covid-19
Sim	a	b
Não	c	d

Do ponto de vista estrutural a medição consiste em indicar se o estímulo psicológico está presente ou ausente. Considera-se que os estímulos (presentes ou ausentes) se apresentam exclusivamente no doente. Nessa situação, têm-se apenas dois resultados associados à resposta do estímulo psicológico, que podem ser: acerto (o participante tem o estímulo, seja a doença) denominado pela letra *a*, e ausência de estímulo, denominado pela letra *c*. Assume-se que o modelo tem apenas um processo (uniprocessual) entre o estímulo psicológico e a resposta observada como forte critério de decisão do psicólogo. A taxa de acertos dos estímulos será $V = a/(a+c)$ e a taxa de acerto dos não estímulos será $N = c/(a+c)$, logo em efeito a $V = 1 - N$, ou $N = 1 - V$.

Para corrigir a deficiência do modelo uniprocessual, assumindo que a resposta do enfermo não reflete diretamente no resultado do processo do estímulo psicológico sensorial, assim é necessário acrescentar um segundo processo, denominado de decisor, que depende do grau de gravidade do doente que reflete na resposta do estímulo psicológica do indivíduo doente. Assim, acrescenta-se ao estímulo sinal (ES) e (A) a ausência do estímulo, ou seja, ausência do sinal psicológico. O resultado agora são quatro:

(a) o doente que tem um estímulo; (b) o estímulo não está presente, mas o doente diz que está; (c) não tem estímulo; (d) o estímulo não está presente, porém o doente diz que não. Assim, os elementos dessa confusão de resultados é chamado de matriz confusão, em que os 4 elementos da matriz 2 x 2 podem ser: os acertos (a), estímulo falso (b), o não estímulo (c) e as rejeições corretas (d).

A predominância é definida como a porcentagem de indivíduos com presença da condição na amostra, ou seja, o estimador da prevalência da condição de interesse.

A capacidade de discriminação de um classificador através de cada taxa de verossimilhança. Segundo (Jaeschk *et al*, 2002) é caracterizado segundo a Tabela 2.

Tabela 2. Categorização da taxa de verossimilhança.

<0,1	0,1 a 0,2	0,2 a 0,5	0,5 a 2	2 a 5	5 a 10	>10
Excelente	Muito bom	Bom	Justo	Bom	Muito bom	Excelente

Assim, uma taxa de verossimilhança (positiva ou negativa) igual 1 indica que tal resposta do classificador é igualmente provável em indivíduos com e sem presença da condição. Uma taxa de verossimilhança maior que 1 indica que a resposta do classificador é mais provável entre indivíduos com presença da condição que sem a condição. E uma taxa de verossimilhança menor que 1 indica que a resposta do classificador é mais provável entre indivíduos com ausência da dita condição. As taxas de verossimilhança acima de 10 ou abaixo de 0,1 correspondem, respectivamente, aos classificadores com uma alta capacidade para detectar ou descartar a presença corretamente.

A variável dicotômica denominada padrão de ouro estabelece a presença de uma determinada condição, ou seja, representa o verdadeiro estado do indivíduo: $C = 1$ significa que está presente a condição e $C = 0$ não está presente à condição. Quanto à resposta do classificador indica a presença ou ausência da condição seria então $X = 1$ se a resposta é positiva e $X = 0$, se a resposta é negativa.

Imagine que um doente responda SIM quando esteja seguro de que se tem apresentado o estímulo (sintoma), e NÃO caso contrário. Obtém-se a taxa de acertos, h , e uma taxa de ausência de estímulo, f , que se o enfermo responde bem aos sintomas o valor de f será baixo. Considere agora que o indivíduo responda SIM quando estiver seguro

do estímulo e NÃO caso contrário. Observe então que os valores de V e N serão mais elevados.

Segundo (Ramos, M. M., *et al*, 2004) a análise da curva permite discriminar perfeitamente a execução na tarefa. No caso da aplicação em psicologia da saúde se produz uma execução ideal quando o doente obtém todos os acertos psicológicos possíveis e não comete nenhum falso alarme, ou seja, $V = 1$ e $N = 0$ respectivamente, em outras palavras, o doente informou com absoluta certeza a resposta para presença do estímulo psicológico associada à diabetes e a Covid-19. Por outra parte, a pior execução consiste em que o número de falso é igual ao número de acerto (o indivíduo não distingue em absoluto o estímulo psicológico do não estímulo), o que fica representada na diagonal definida entre o vértice inferior esquerdo (0,0), na origem do plano cartesiano. A precisão fica representada pela cercania da curva ao vértice (0,1). Ao observar a Figura 1, esta ilustra uma situação de três doentes diferentes, o doente I₁ é mais preciso que I₂ e que I₃. A curva permite saber o risco de resposta, ou critério, que tem os três indivíduos doentes. Quando mais se confirma a associação psicológica (conhecida a priori) entre a diabetes e à Covid-19, mais SIM e mais falso alarme se obtém. Observar na Figura 1 a representação da curva ROC considerando três doentes. Quanto mais distante a curva estiver da diagonal as curvas, melhor será o poder discriminatório. A curva verde (I₂) apresenta um classificador com baixo rendimento em relação à curva I₁.

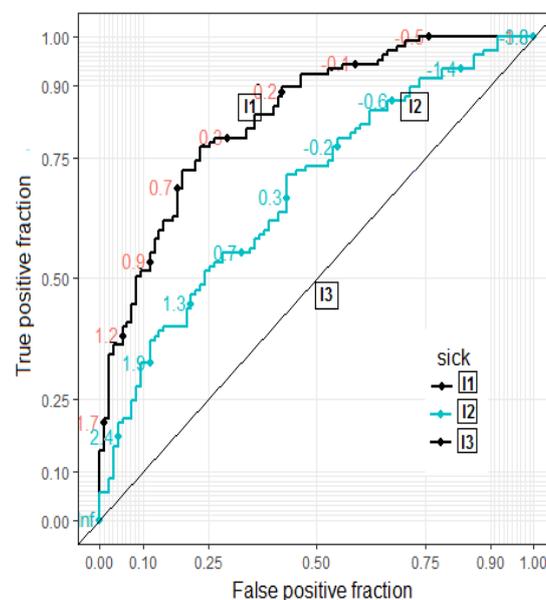


Figura 1. Família de curva ROC.

Ao dizer sempre SIM, ambas as taxas serão 1, portanto, o doente se situaria no vértice superior direito (1,1) revelando que o indivíduo tem sintoma e apresenta estímulo psicológico associados. Pelo contrário, se o indivíduo sempre diz NÃO, se situaria no vértice inferior esquerdo (0,0), nesse caso, o indivíduo não apresentou um estímulo psicológico associado. Observa-se que o risco é maior quando se diz SIM e quanto mais perto se situa ao ponto (1,1), isso mostra que a exigência para detectar o sinal psicológico foi insuficiente para afirmar SIM.

Índices de precisão baseados no umbral sensorial

O processo de detecção pode ser ativado apenas pelo sinal. O sinal pode ser ativado com probabilidade p , e não ser ativado com probabilidade complementar $(1-p)$. Nesse caso, o ruído nunca ativa o processo de detecção. Se o processo é ativado a resposta selecionada será SIM, se não for ativado será NÃO.

Entretanto, posto que o sinal também pode não ser ativado, assume que o processo decisor tenta adivinhar se a não ativação foi produzida pelo sinal ou pelo ruído. De modo que, ante a não ativação, se decide SIM com probabilidade g , e no caso de decidir um NÃO à probabilidade complementar, $(1-g)$. A TUA fica especificada na árvore de transmissão de estados que aparece na Figura 2.

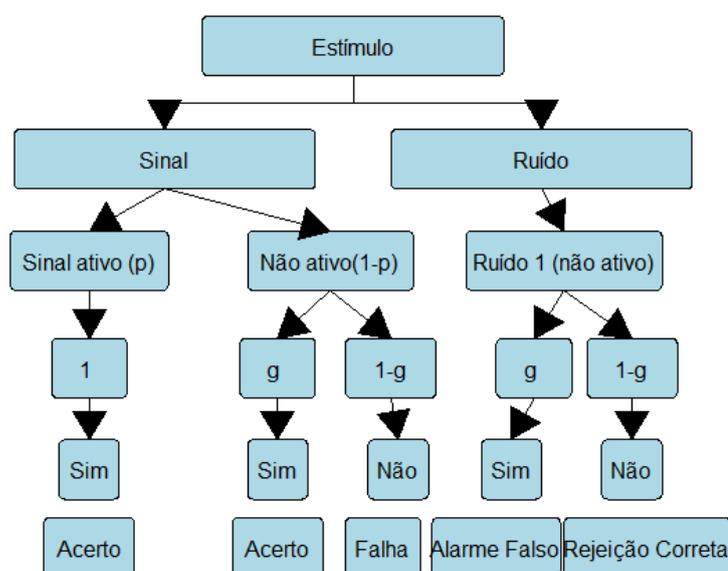


Figura 2. Árvore de transição de estado segundo a TUA.

O modelo explica os quatro resultados possíveis dos doentes. Os acertos são detectados por SIM ou o que não detecta o sinal também pode detectar (adivinhando) o sinal SIM. O índice de precisão p que se busca pode ser obtido por:

$$p = \frac{V - N}{1 - N}$$

Resulta natural relacionar uma curva ROC de um classificador com as medidas de classificação correta, dado que a curva está formada pelas frações de falsos positivos contra as frações de verdadeiros positivos. Choi (1998) diz que existem distintos tipos de curvas ROC: a tangente em um ponto da curva, a inclinação entre a origem e um ponto da curva e a pendência entre dois pontos da curva (Figura 3).

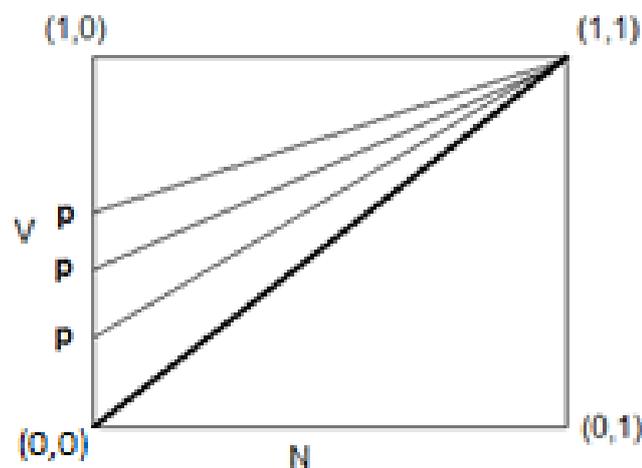


Figura 3. Curva (linha) ROC e suas extremidades.

$$p = \frac{V - N}{1 - N}$$

Observa-se que $V = \text{prob}\left(\frac{SIM}{Sinal}\right) = p + (1 - p)g$ e $N = p + (1 - p)N$. Logo, tem-se que $V = p + (1 - p)N$ (uma equação da reta), em que V e N são, respectivamente, a variável independente e a variável dependente; $(1 - p)$ é o coeficiente angular, e p é o coeficiente linear.

A taxa de acerto é uma função linear da taxa de falsos alarmes, sendo p a probabilidade do índice do processo de detecção. Em que, p é o índice de precisão, o

ponto de corte na ordenada (V); a inclinação da curva é $1 - V$ e todas as curvas passam pelo ponto (1,1) e V, como se observa na Figura 3.

A região crítica se situa na cola direita da distribuição, ou seja, para um nível de significância α rejeita-se a igualdade das curvas ROCs quando o valor experimental da estatística χ^2 fica no eixo x da área em azul. Assim, verifica que $\chi^2 > \chi_{2,\alpha}^2$, em que $\chi_{2,\alpha}^2$ denota o quantil da distribuição Qui-Quadrada com 2 graus de liberdade tal que $P(\chi^2 > \chi_{2,\alpha}^2) = \alpha$. Admitindo que as duas distribuições sejam normais da variável diagnóstica (poderia ser outra distribuição qualquer).

Considere dois grupos G_1 e G_2 , como se observa na Figura 4.

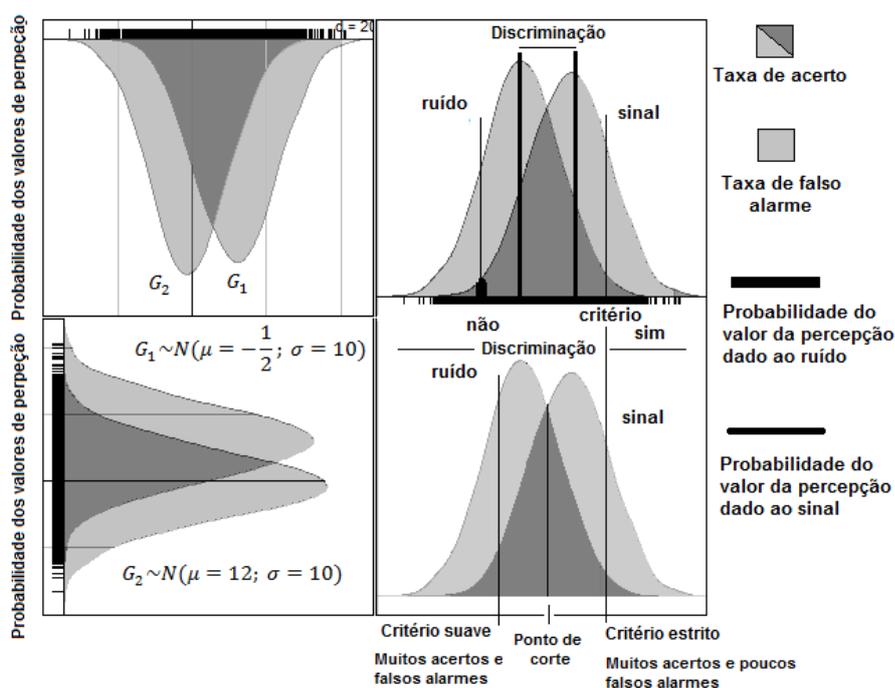


Figura 4. Conceitos fundamentais da Teoria de detecção de sinais psicológicos do enfermo.

A curva ROC ilustra como diferentes critérios para interpretar um classificador que representam distintos valores de fração de falsos positivos (incapacidade do critério para reconhecer a alternativa para condição de interesse) e a sensibilidade (capacidade do critério para detectar a condição). Os pontos mais altos da curva representam observadores com um critério de decisão tolerante, enquanto que os pontos abaixo da curva representam observações com um critério de decisão mais estrito ou rigoroso. Na Figura 5 mostra essas situações.

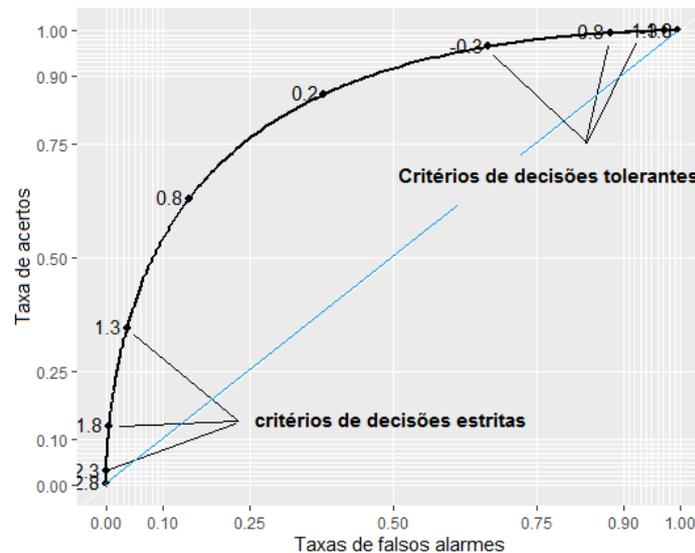


Figura 5. Critérios de decisão tolerante e rigoroso.

Em relação ao processo de decisão, a teoria assume que o indivíduo em um dado momento adota um critério de resposta. O critério vem formado em término da razão de verossimilhança (um quociente entre probabilidades de valores de sensação).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicação

Para ilustrar o processo de construção de uma curva ROC considera-se hipoteticamente indivíduos que têm diabetes e Covid-19. As respostas psicológicas para os casos normalidade e anormalidade psicológica em relação aos sintomas foram conhecidas a priori. Os sintomas serão classificados em: definitivamente anormal (maior que 1051 indivíduos), provavelmente anormal (entre 900 a 1050 indivíduos), possivelmente anormal/normal (entre 500 a 900 indivíduos), provavelmente normal (entre 300 a 500 indivíduos) e definitivamente normal (entre 1 a 300 indivíduos). Normal significa ausência de condições psicológicas.

Os valores entre parênteses na Tabela 4 correspondem às frações, por exemplo, da sensibilidade $FVP = 20/157 = 0,127$, especificidade $FVN = 893/963 = 0,927$. Ainda se tem $FFN=137/157 = 0,872$ e $FFP=70/963 = 0,072$, como se observa nos valores representados na Tabela 4.

Tabela 3. Resultados da simulação de respostas psicológicas da enfermidade.

Casos	Resposta psicológica satisfatória					Total
	>1051	900-1050	500-900	300-500	1-300	
Anormal	20	9	18	10	100	157
Normal	70	130	150	210	403	963

Tabela 4. Matriz confusão para o critério de decisão 1052, 900, 500 e 300.

Casos	Respostas satisfatórias		Total
	>1052	1-1052	
Anormal	20 (0,127)	137 (0,872)	157
Normal	70 (0,072)	893 (0,927)	963
	>900	1-900	
Anormal	29 (0,184)	128 (0,815)	157
Normal	200 (0,207)	763 (0,792)	963
	>500	1-500	
Anormal	47 (0,299)	110 (0,700)	157
Normal	350 (0,207)	613 (0,636)	963
	>300	1-300	
Anormal	57 (0,363)	100 (0,636)	157
Normal	403(0,418)	613 (0,884)	963

Tabela 5. Outras medidas da capacidade da classificação.

Casos		AC	S	E	LRP
>1052	1-1052	0,8151	0,1273	0,9273	1,7525
>900	1-900	0,707	0,184	0,792	0,889
>500	1-500	0,589	0,299	0,636	0,823
>300	1-300	0,598	0,363	0,603	0,915

O índice AC é calculado como proporção de verdadeiros positivos e negativos na amostra:

$$AC = \frac{VP + VN}{N}$$

Assim, um classificador ideal ou perfeito é aquele cujas respostas são concretas, e por tanto sua exatidão é um, $AC = 1$, dado que $FP = FN = 0$, neste caso, não produz

classificações errôneas. O estimador S é a proporção de respostas negativas que são corretamente classificadas: $S = \frac{VP}{VP+VN} = FVP$

Por esse motivo, também se denomina fração de verdadeiros positivos (FVP), recall ou exatidão positiva. O Valor E é o estimador de especificidade da proporção de respostas negativas que são corretamente classificados: $E = \frac{VN}{FP+VN} = FVN$.

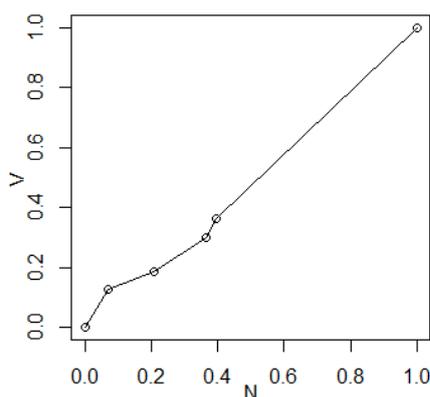
Quando $E = 1$, a especificidade é máxima, então $FP = 0$, equivalentemente $VN = TCA$ (total de respostas com ausência da condição), posto que $TCA = FP + VN$. Já o LRP (taxa de verossimilitude positiva). Seus estimadores são: $LRP = \frac{S}{1-E} = \frac{FVP}{FFP}$.

Essa taxa reflete o grau de evidência de uma resposta do classificador a favor da presença da condição com relação à ausência da condição.

O maior índice de exatidão foi para o caso de maior de 1052 a 1 até 1052 casos. Um valor seria ou perfeito é aquele cujos sinais psicológicos detectados corretamente, nesse caso o valor seria $AC = 1$, dado que $VP + VN = T$ ou equivalentemente, $FP = FN = 0$, nesse caso não produz interpretação errônea em relação aos sinais conhecidos psicologicamente. Valores mais próximos de 1, isto é, $AC = 0,8151$, significa forte evidência de ótimos de sinais psicológicos detectados. Utilizando agora um critério menos estrito da resposta psicológica satisfatória para o diagnóstico de presença de casos de enfermidade de Covid-19 associado à diabetes, consideram-se os pacientes com mais de 900. A Tabela e a Figura 6 mostram a curva ROC gerada a partir dos valores de sensibilidade e o complementar da especificidade em cada ponto de corte do diagnóstico da diabetes com Covid-19.

Tabela e Figura 6. Curva ROC com traços diagonais da resposta psicológica quanto à diabetes e Covid-19.

Pontos	Critérios	
	1-E (N)	S (V)
Extremo	0	0
A	0,072	0,127
B	0,207	0,184
C	0,364	0,299
D	0,396	0,363
Extremo	1	1



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ponto (0,0) informa que todos os sinais psicológicos tiveram ausência de casos de enfermidade e, portanto, a fração de verdadeiros negativos é um (1) e a fração de verdadeiros positivos é zero (0). O ponto (1,1) todos os pacientes são classificados com presença da enfermidade indicados pelos sinais psicológicos, obtendo que a fração de verdadeiros positivos é 1 e a fração de verdadeiros negativos é zero. Esses extremos correspondem que os sintomas psicológicos apresentados foram aleatórios, ou seja, revelam a incapacidade de detectar sinais psicológicos em relação ao diabetes e Covid-19. Exceto o ponto (0,0), o ponto B da curva apresenta um critério de decisão mais estrito ou rigoroso para afirmar que os sinais psicológicos indicam os sintomas psicológicos relacionados, como se observa na Figura 6.

O ponto A (0,072; 0,127) corresponde ao ponto de corte da categoria definitivamente anormal e portanto, ao critério mais estrito, na qual apenas os enfermos com respostas definitivamente anormal se consideram que apresentam os sintomas psicológicos de ter diabetes e Covid-19. O ponto B = (0,207; 0,184) corresponde ao ponto de corte da categoria provavelmente anormal, em que os pacientes com respostas definitivamente anormal ou provavelmente anormal apresentaram sintomas relacionados à diabetes e Covid-19. O ponto C = (0,207; 0,184) corresponde ao ponto de corte da categoria regular. Já o ponto D = (0,393; 0,363) corresponde ao ponto de corte da categoria provavelmente normal, e, portanto, o critério mais tolerante no que todos os pacientes são considerados para apresentar sintomas de diabetes e Covid-19, exceto os que responderam a resposta definitivamente normal.

A curva ROC gerada a partir de um conjunto finito de respostas é uma função escalonada ou linear, como a curva ROC da Figura 6, que se aproxima da verdadeira curva ROC quando o número de casos é infinito. Em particular, no exemplo proposto apenas existe $k = 5$ categorias para as respostas da prova diagnóstica y $k - 1 = 4$ critérios de decisão, cada um dos quais proporciona um único par de coordenadas (FFP, S), aos que acrescenta mais duas classificações externas, (0,0) e (1,1), e a diagonal que os unem, $y = x$, que corresponde a um classificador com capacidade aleatória, os estímulos psicológicos (sinais) detectados podem ser do grupo normal ou anormal.

Finalmente, descrevemos de forma detalhada os passos para uma situação particular de tomada de decisão psicológica mediante uma curva ROC. Centralizando-se no campo da psicologia da saúde que pode se beneficiar da técnica para um

aprofundamento no conhecimento dos sinais psicológicos diante de uma determinada enfermidade com sintomas a priori conhecidos.

REFERÊNCIAS

Equipe principal do R. R: **Uma linguagem e ambiente para computação estatística**. Fundação R para Computação Estatística, Viena, Áustria, 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 18 fev. 2024.

FÁVERO, Luiz Paulo Lopes et al. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. Acesso em: 18 fev. 2024.

GONZÁLEZ, M.A.M. *et al.* **Bioestadística Amigable**. Barcelona: Elsevier, 2014.

GORDON, M. Gmisc: Descriptive Statistics, Transition Plots, and More. R package version 1.9.2. 2023.

MASSAD, Eduardo et al. **Métodos quantitativos em medicina**. São Paulo: Manole, 2004.

NICOLÁS, M. F.; MOLINA, J. M. V. **Análisis de Curvas ROC. Principios básicos y aplicaciones**. Cuadernos de Estadística. Madrid: La Muralla, S. L., 2007.

RAMOS, M. M.; CATENA, A.; TRUJILLO, H. M. **Manual de métodos y técnicas de investigación em ciencias del comportamiento**. Madrid: Editorial Biblioteca Nueva, S. L., 2004.

SACHS, M. C. plotROC: A Tool for Plotting ROC Curves. *Journal of Statistical Software, Code Snippets*, [S. l.], v. 79, n. 2, p. 1-19, 2017. DOI: 10.18637/jss.v079.c02. Disponível em: <https://www.jstatsoft.org/index.php/jss/article/view/v079c02>. Acesso em: 18 fev. 2024.

SIEVERT, C. **Interactive Web-Based Data Visualization with R, plotly, and shiny**. Florida: Chapman and Hall/CRC, 2020.

WICKHAM, H. **Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. New York: Springer-Verlag, 2016.