

Plataforma Baseada em Sistema Neuro-nebuloso para Auxílio do Psicólogo no Diagnóstico de Transtornos do Neurodesenvolvimento

1st Ben-Hur Montel

Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE-UFMA)
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
São Luís, Brasil
ben-hur.matthews@discente.ufma.br

2nd Angela Figueiredo

Engenharia Elétrica (IFMA)
Instituto Federal do Maranhão (IFMA)
São Luís, Brasil
thayssa.angela@acad.ifma.edu.br

3rd Danúbia Pires

Departamento de Eletroeletrônica (DEE)
Instituto Federal do Maranhão (IFMA)
São Luís, Brasil
danubiapires@ifma.edu.br

4th Bruna Pires

Clínica Singular
Psicóloga Clínica Singular
São Luís, Brasil
(psicologabrunapires@gmail.com)

5th Orlando Donato

Departamento de Eletroeletrônica (DEE)
Instituto Federal do Maranhão (IFMA)
São Luís, Brasil
orlando.rocha@ifma.edu.br

Abstract—Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma plataforma baseada em sistema de identificação neuro-nebuloso para auxiliar psicólogos no diagnóstico de transtornos do neurodesenvolvimento. A metodologia utilizada consiste em um sistema de inferência neuro-nebuloso adaptativo modelado por dados obtidos por intermédio de um profissional psicólogo. Estes dados correspondem a questões avaliadas presentes um questionário para análise dos níveis de desenvolvimento emocional e funcional. Para modelagem das regras, dados de entrada foram simulados e avaliados por um psicólogo, este conjunto de dados foi utilizado para determinar os parâmetros de saída da regra nebulosa através de um algoritmo de descida de gradiente. Para teste do modelo, um conjunto de dados foi gerado e a resposta do sistema foi comparada com o parecer informado pelo psicólogo. Para simplificar a aplicação, uma interface gráfica foi desenvolvida com o objetivo de realizar a comunicação entre o profissional e o sistema neuro-nebuloso. Após a etapa de validação, é observado o potencial de aplicação desta metodologia para o diagnóstico de transtornos do neurodesenvolvimento. Além disso, a inclusão do parecer do profissional psicólogo na modelagem das regras fortalece a confiabilidade e a precisão do sistema, tornando-o uma ferramenta valiosa para auxiliar no diagnóstico desses transtornos.

Index Terms—Sistema Neuro-nebuloso; Transtornos de Neurodesenvolvimento; DIR-Floortime; Plataforma inteligente.

I. INTRODUÇÃO

A psicologia ao focar no desenvolvimento neurológico humano, passa a analisar alterações ou déficits comportamentais, estes costumam se manifestar durante a infância. Os transtornos caracterizados por tais déficits são conhecidos como Transtornos do Neurodesenvolvimento (TND) e seu diagnóstico e tratamento é realizado por psicólogos especializadas [1]. Tais transtornos têm origem atribuída a fatores

genéticos, biológicos, sociais e ambientais, e tendem a influenciar negativamente a aquisição de diversas habilidades, como a memória, percepção, linguagem, socialização e tomada de decisão. As edições recentes do Manual de Diagnóstico e Estatística das Doenças Mentais (DSM-V) e da Classificação Estatística Internacional das Doenças (CID-11) contêm seções particulares que classificam os TNDs e fornecem uma lista de características que podem ajudar no diagnóstico [2], [3].

A fim de explicar o desenvolvimento humano desde os primeiros instantes de vida, o método DIR/Floortime foi desenvolvido. Este, descreve as relações e conexões emocionais como base para o desenvolvimento humano. Sendo necessário entender o Desenvolvimento (“D”) e as Individualidades (“I”) para poder compreender os Relacionamentos (“R”) [4]. Assim, no processo de diagnóstico por meio do método DIR-Floortime, é importante levar em consideração a singularidade de cada indivíduo. Dessa forma, cada paciente apresenta respostas e evoluções distintas em relação a cada estímulo aplicado. Essa subjetividade acrescenta uma grande dose de incerteza aos dados disponíveis para análise. Diante desse cenário, algoritmos baseados em lógica nebulosa e redes neurais, mostram-se capazes de identificar padrões e classificar dados incertos, revelando um alto potencial de aplicação.

Devido à dificuldade dos processos relacionados aos transtornos de neurodesenvolvimento, muitas técnicas de inteligência computacional foram aplicadas com a intenção de dar auxílio aos profissionais psicólogos no tratamento e diagnósticos [5]–[7]. Estes apresentam metodologias para o diagnóstico de um TND específico. Neste sentido, o trabalho proposto em [8] apresenta um modelo inteligente baseado em lógica nebulosa, onde o algoritmo deve ser aplicado por intermédio de um psicólogo. Nesse sentido, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma interface homem-máquina

para a aplicação da rede neuro-nebulosa proposta em [8], de forma a facilitar o entendimento dos resultados por parte do psicólogo, além de possuir rotinas específicas para a validação do modelo.

II. EMBASAMENTO TEÓRICO

A abordagem neuropsicológica por Greenspan incorporou a interação entre cognição e emoção, levando ao desenvolvimento subsequente do método denominado DIR (Desenvolvimento, Diferenças individuais, relacionamentos). Para entender como a personalidade das pessoas se desenvolve, Greenspan [4], [9]–[11] identificou os Estágios de Desenvolvimento e Emocional Funcional (EDEFs), que ocorrem desde os momentos iniciais da vida até a idade adulta. Esses estágios foram formulados com base na observação e no trabalho clínico com bebês, crianças e suas famílias, independentemente de terem ou não algum diagnóstico. Neste trabalho os quatro primeiros EDEF's foram abordados, sendo definidos como:

- **EDEF 1 - Regulação e Interesse pelo Mundo (0-3 meses):** Relaciona-se à capacidade de organizar as sensações vivenciadas e as respostas biológicas originadas, possibilitando à criança maior autonomia para a exploração do meio. Dessa forma, a criança pode abraçar, tocar e vivenciar, permitindo-a que o próximo estágio de desenvolvimento seja alcançado [9]. Crianças que apresentam atrasos no desenvolvimento comumente têm dificuldade em manter a atenção em sons e sinais variados, além de se envolverem em comportamentos de autoestimulação. Isso resulta na perda da oportunidade de explorar o mundo ao seu redor [11].
- **EDEF 2 - Relacionamento e Engajamento (2-5 meses):** Relaciona-se à capacidade de engajar e se envolver em relacionamentos. É esperado que os primeiros relacionamentos sejam estabelecidos pelos cuidadores da criança, permitindo que ela saiba distinguir entre o prazer da interação com o mundo humano e o interesse por objetos inanimados. Crianças que têm atrasos neste processo de desenvolvimento geralmente enfrentam dificuldades em prestar atenção às pessoas, muitas vezes focando em objetos ou experiências sensoriais em vez disso [11].
- **EDEF 3 - Círculos de comunicação (3-10 meses):** Diz respeito à capacidade de conectar-se com outro indivíduo, havendo reciprocidade voluntária de sinais e respostas com intuito de se comunicar com outro. Nesse estágio, as interações envolvem aprendizado físico ou somático; o comportamento e as emoções encontram-se relacionados com as consequências físicas [9]. Crianças que apresentam dificuldades no processo de desenvolvimento usualmente têm impactos negativos quanto ao prosseguimento de iniciativas de comunicação, e a comunicar suas necessidades e desejos.
- **EDEF 4 - Comunicação Complexa e Resolução de Problemas (9-18 meses):** Trata da capacidade de estabelecer comunicação em duas vias e usar essa habilidade para solução de problemas e informar suas necessidades.

A criança aprende a restringir e moldar seu humor e comportamento, com a finalidade de experienciar da melhor forma possível o seu relacionamento com outro indivíduo [11]. Alguns fatores que podem influenciar negativamente a criança nessa etapa estão ligados a problemas motores, deficiências visual ou auditiva, e até mesmo a ausência de estímulo da comunicação adequada.

Os profissionais psicólogos responsáveis pelo diagnóstico de TNDs possuem suas singularidades quanto aos métodos para realizar a análise de cada um dos estágios, para assim obterem um diagnóstico preciso e correto. Este trabalho busca auxiliar o profissional durante esse processo de identificação e análise de um possível TND.

Atrasos em certos EDEF's podem estar relacionados a falta de estímulos aos critérios atribuídos a cada uma dessas etapas de desenvolvimento humano, porém a combinação destes atrasos pode estar relacionada a TND. Assim, através desta análise, o psicólogo pode direcionar o processo de tratamento de seus pacientes. Nesse sentido, a tabela III apresenta uma relação entre os TND e o atraso em cada um dos 4 primeiros EDEF's.

TABLE I
RELAÇÃO ENTRE EDEF'S E TN'S

TN	EDEF1	EDEF2	EDEF3	EDEF4
TEA	Presente	Presente	Presente	Presente
TDAH	Presente			Presente
TLF		Presente	Presente	Presente

III. METODOLOGIA

Neste artigo, um sistema de regras nebulosas baseada no modelo Takagi-Sugeno (TS) é desenvolvido através de um sistema de inferência adaptativa neuro-nebulosa utilizando o método de retropropagação de erro para para a modelagem do consequente da regra nebulosa. O conjunto de dados utilizados para esta modelagem consistem nos parâmetros e questões analisadas pelo profissional psicólogo no questionário de avaliação. Após o desenvolvimento do sistema de regras nebulosas, uma interface gráfica foi desenvolvida para obter os dados informados pelo psicólogo, analisá-los através do sistema de inferência neuro-nebuloso desenvolvido e informar ao psicólogo o nível de desenvolvimento do paciente em cada nível analisado. O desenvolvimento desta plataforma foi realizada no ambiente *Scilab-6.1.1*.

A. Parâmetros de entrada

As variáveis de entrada referem-se a questões presentes no teste para avaliação dos EDEFs baseados na interpretação do profissional sobre a literatura [4], [9], [10]. Por intermédio do especialista, as seguintes questões para cada EDEFs foram obtidas:

1) EDEF 1:

- Demonstra interesse pelas coisas à sua volta?
- Olha para cenas ao seu redor?
- Vira-se na direção dos sons?

2) *EDEF 2:*

- A criança parece feliz e satisfeita quando vê a sua pessoa preferida?
- Tem curiosidade pelas brincadeiras do cuidador?
- Mostra proximidade física ao cuidador?
- Evita o olhar?
- Engajamento em espaços amplos? (a partir dos 19 meses)
- Mostra-se desconfortável se o cuidador não responde de forma apropriada/esperada? (25 meses)

3) *EDEF 3:*

- Demonstra o que quer?
- Responde a pessoas que falam/brincam com ele?
- Demonstra raiva ou agressividade?
- Usa linguagem?
- Inicia ações intencionais? (a partir dos 19 meses)
- Responde de forma adequada?

4) *EDEF 4:*

- Demonstra o que quer ou necessita usando ações? (14 meses)
- O cuidador e a criança iniciam e mantêm cadeias recíprocas de interação um com o outro, amarrando, conectados, círculos de comunicação ou unidades de interação?
- Orquestra cadeias de interações mais complexas enquanto resolve problemas e mostra o que quer? (18 meses)
- Usa imitação como copiar sons, palavras ou gestos motores, como parte de uma interação divertida e contínua? (18 meses)
- Soluciona problemas emocionais?
- Soluciona problemas motores?

Algumas questões presentes nesse teste são complicadas de observar em crianças com determinada idade, portanto, é indicado que essa questão seja analisada numa idade acima da prevista para o desenvolvimento do EDEF.

Cada questão apresenta quatro possíveis respostas, que são analisadas de forma qualitativa e relacionadas a um fator percentual, da seguinte forma:

- 1) Sim: O paciente responde plenamente, com autonomia, em diversas situações. Valor relacionado 1.
- 2) Emergindo: O paciente responde ocasionalmente e sem suporte. Valor relacionado 0,75.
- 3) Com Suporte: O paciente responde com algum tipo de suporte físico e/ou verbal consegue realizar a ação. Valor relacionado 0,5.
- 4) Não: O paciente apresenta resposta mínima ou não responde. Valor relacionado 0.

EDEFs com o mesmo número de entradas são analisados com o mesmo sistema, pois todas possuem o mesmo peso, sendo de maior relevância para a saída sistema o conjunto e combinação dessas entradas.

A lógica clássica trata-se de uma visão binária, em que reconhece apenas dois valores, o verdadeiro ou falso (0 ou 1). Por sua vez, a lógica nebulosa reconhece uma variedade de valores, classificando informações de forma gradual através de graus de pertinência que variam entre 0 e 1 [12].

Para cada variável de entrada foi considerado apenas duas funções de pertinência, correspondentes aos níveis sim e não. Dessa forma, os níveis emergindo e com suporte estão em uma região intermediária, possuindo pertinência intermediária para os conjuntos sim e não. Com essas observações, nessa aplicação foi considerada a função de pertinência triangular, com núcleos em 0 e 1, não e sim, respectivamente.

B. Base de dados

Os parâmetros de entrada são limitados a quatro valores (sim, não, com suporte e emergindo). Para o EDEF 1 é apresentado somente três questões, ou seja, 64 possibilidades de combinações na entrada. Para os EDEFs 2, 3 e 4 há seis questões a serem respondidas, que geram uma variedade de situações, resultando em 4.096 possibilidades. Portanto, uma base de dados foi determinada com intuito de testar o sistema. A base possui o seguinte padrão:

- EDEF 1: é apresentado 64 possibilidades, das quais 51 combinações foram usadas como conjunto de treinamento e as 13 restantes como conjunto de teste.
- EDEFs 2, 3 e 4: foram gerados 204 pares de entradas e saídas aleatórios, dos quais 164 foram classificados como conjunto de treinamento e 40 como conjunto de teste.

C. Parâmetros das respostas

Com parâmetros de entrada definidos, passa a ser então necessária a validação de um profissional e especialista para obtenção dos parâmetros de saída, esses que em um primeiro momento são qualitativos, entretanto, para aplicação em sistemas nebulosos é essencial a inserção de certo grau de incerteza, tratando de um tratamento quantitativo.

A saída fornecida de forma qualitativa deve ser analisada com cautela, uma vez que o processo envolve complexidades, como a possibilidade de pacientes diferentes, com limitações e experiências distintas, apresentarem o mesmo parecer. Isso ocorre devido ao alto número de combinações possíveis com os quatro pareceres, tendo isso em vista, desenvolveu-se uma abordagem baseada nas médias das variáveis de entrada, tornando imprescindível o tratamento numérico dessas médias, com a finalidade de adequá-las ao padrão desejado por meio de uma interpolação.

A tabela II apresenta os parâmetros utilizados para o tratamento citado acima. Nas colunas M_{min} e M_{max} , as médias das variáveis de entrada classificadas em cada nível é apresentada.

Observa-se que há muita sobreposição entre os valores. A fim de eliminar esta característica e permitir que a saída de cada nível esteja em intervalos sem sobreposição, uma interpolação é realizada de forma a concentrar o intervalo das médias observadas em cada nível, nos intervalos apresetados nas colunas P_{final} e $P_{inicial}$. Esta interpolação é calculada pelas seguintes equações:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{min} & 1 \\ M_{max} & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} P_{inicial} \\ P_{final} \end{bmatrix} \quad (1)$$

TABLE II
 PARAMETROS DE INTERPOLAÇÃO

Nível de Saida	M_{min}	M_{max}	P_{final}	$P_{inicial}$
Sim	0,83	1	1	0,95
Emergindo	0,375	0,91667	0,91	0,64
Com suporte	0,25	0,8	0,62	0,32
Não	0	0,291667	0,3	0

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{min} & 1 \\ M_r & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} P_{inicial} \\ M_r \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_r & 1 \\ M_{max} & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} M_r \\ P_{final} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$r_s = ax + b \quad (4)$$

onde M_r corresponde a faixa inicial relacionada ao parecer (0; 0,75; 0,5; 1). A Eq. (1) é utilizada para obter os parâmetros a e b dos pareceres “sim” e “não”, pois o M_r é o mesmo valor de M_{min} ou M_{max} do parecer. As equações (2) e (3) são empregadas para obter a simetria aos conjuntos dos pareceres emergindo e com suporte, pareceres que inicialmente apresentam uma sobreposição de valores. Finalmente, a Eq. (4) realiza a interpolação com os parâmetros a e b obtidos pelas equações anteriores. Os parâmetros dispostos nesse processo são apresentados na Tabela II.

D. Modelagem do Sistema

Uma rede neural processa informações baseado nos padrões aprendidos durante a etapa de treinamento. Para isso, algoritmos de aprendizado são aplicados em um conjunto de dados previamente coletado. Inicialmente a rede permanece inerte e o algoritmo de aprendizado altera cada peso das interconexões de tal forma que o comportamento da rede inflja a ação desejada no comportamento de estimação dos dados. Essa fase de treinamento é análoga à fase de aprendizado de um sistema nebuloso. Como resultado do treinamento da rede, a mesma produzirá valores de saída similares ao conjunto de dados das amostras fornecidas inicialmente. Para valores intermediários, a rede produz uma interpolação [12].

O sistema adaptativo de inferência neuro-nebuloso conciste em um modelo híbrido na qual um sistema de regras nebulosas no modelo TS é modelada como uma rede neural artificial. Assim, durante o processo de treinamento, o sistema se comporta como um ma rede neural, e seus pesos (parâmetros das regras nebulosas) são obtidos de forma a minimizar o erro entre os valores presentes na base de dados e o resultado obtido pelo sistema. Na etapa de processamento, o sistema funciona como uma base de regras nebulosas do modelo TS. Estas regras podem integrar conhecimento do especialista e conjuntos de dados [13].

As redes neurais artificiais reproduzem o comportamento apresentado pelo conjunto de treinamento, enquanto que a lógica nebulosa infere respostas para combinações de dados não observadas baseada no comportamento da rede. Assim,

a combinação destas duas técnicas apresenta um potencial interessante para o projeto de sistemas inteligentes [14]. O sistema neuro-nebuloso proposto neste artigo consiste numa *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) [17], esta é composta por cinco camadas:

- 1) Camada de entrada: onde as variáveis de entrada se conectam ao sistema com valores reais.
- 2) Camada de fuzzificação: onde os graus de pertinência de cada entrada são determinados.
- 3) Camada de inferência: onde o conjunto de saída é defuzzificado, para obtenção de um valor real.
- 4) Camada de saída: conecta a saída do sistema ao processo.

A estrutura desse sistema é apresentada pela Fig. 1.

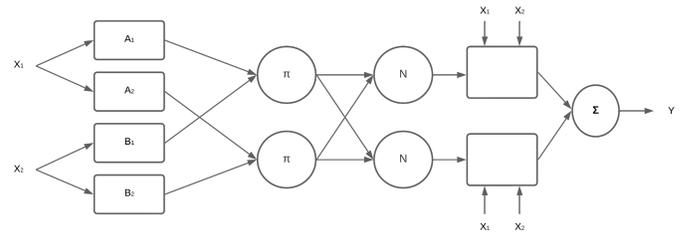


Fig. 1. Arquitetura de um sistema de inferência neuro-nebuloso adaptativo

Neste trabalho, é apresentado um sistema adaptativo de inferência neuro-nebuloso que se baseia no modelo de regras Takagi-Sugeno:

$$R_w : \text{Se } x_1 \text{ é } A_1 \text{ e } \dots \text{ e } x_i \text{ é } A_i \text{ então } y_w = f_w(x) \quad (5)$$

onde a proposição “se” é conhecida como antecedente, modelada pelos conjuntos nebulosos de cada variável, e a proposição “então” é conhecida como consequente. Este modelo de regras nebulosas pode ser reescrito como uma equação linear dada por:

$$f_w(x) = \left(\sum_{j=1}^c a_{jw} x_j \right) + b_w \quad (6)$$

onde a_{iw} e b_w são os coeficientes da equação da regra w , j é a quantidade de parâmetros lineares, e x_i é a i -ésima variável de entrada. Estes parâmetros são obtidos por otimização, através do método de retropropagação de erro. Para isso, a seguinte função de erro é definida:

$$e = [y_r - f_w(x)]^2 \quad (7)$$

onde y_r são os valores esperados de desenvolvimento para cada parecer (obtidos pelas equações (1)-(4)). Assim, os parâmetros a_{iw} e b_w são obtidos de forma a minimizar a função de erro. Para isso, o método de descida mais íngreme de gradiente é aplicado de acordo com a seguinte formulação:

$$f_w(x)^{k+1} = f_w(x)^k - \alpha \frac{\partial e}{\partial f_w} \quad (8)$$

onde o sobrescrito k indica a iteração atual e α é uma seleção ótima de passo, geralmente escolhida como um valor baixo ($< 0, 1$). Este método também é conhecido como retropropagação

de erro, pois o erro de aproximação, representado pelo valor da derivada da função de erro é repassada para os nós anteriores, de forma a ajustá-los a cada iteração para reduzir o erro de aproximação até um nível aceitável [16]. Para solucionar este problema, a regra da cadeia é aplicada para separar as derivadas parciais de cada um dos parâmetros livres (a_i e b_w). Este processo é apresentado em [17]. Com isso, o processo de otimização baseado na descida do gradiente é realizado de acordo com [18]. Determinando assim os parâmetros a_{iw} e b_w de forma ótima para cada regra, como apresentado em [8].

IV. DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA

Para facilitar a comunicação entre o sistema nebuloso treinado e o profissional que irá fornecer os dados para análise, uma interface gráfica foi desenvolvida no ambiente *Scilab* com o auxílio da ferramenta *GUI Builder 4.2.1*. A figura 2 apresenta a janela principal da interface desenvolvida. Esta é formado de *Push Buttons*, blocos de texto fixos e blocos de texto editáveis. A função de cada um é apresentada nesta seção.



Fig. 2. Janela principal da interface gráfica desenvolvida.

A. Blocos de Texto

As colunas apresentadas tratam-se de blocos de texto, a primeira é formada por textos fixos e apresenta os EDEFs analisados; as demais colunas apresentam blocos editáveis que apresentam as informações fornecidas pelo sistema nebuloso. A segunda mostra a classificação desse EDEF (não, emergindo, com suporte e sim), esta foi obtida pela comparação entre o nível de desenvolvimento informado pelo sistema e referência de cada nível apresentada pelas colunas $P_{inicial}$ e P_{final} da tabela III; a terceira apresenta o índice ou nível desenvolvido em forma percentual. O bloco de texto centralizado no topo da interface exibe o nome do paciente. Para ilustrar, na Fig. 3, observa-se a interface apresentando dados fictícios.

B. Push Buttons

Além das especificações informadas na toolbox, é necessário especificar cada função presente na interface dentro do código usando a estrutura de function. Ademais, os

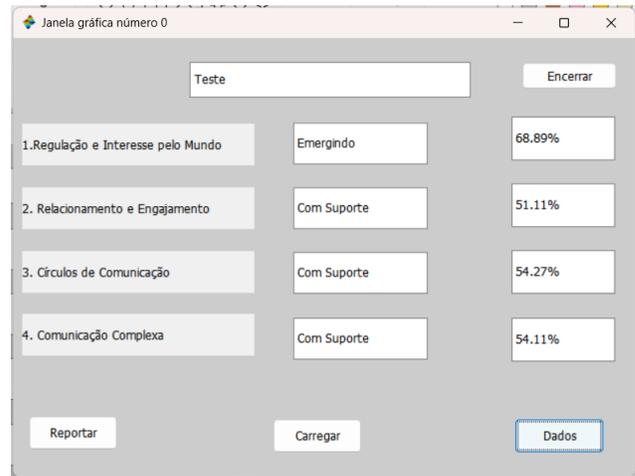


Fig. 3. Janela principal da interface apresentando dados fictícios analisados pelo sistema nebuloso.

blocos de texto são responsáveis por apresentar informações, enquanto os push buttons são utilizados para gerenciar as operações realizadas pela plataforma, permitindo interações com a interface. O botão de dados é utilizado para inserir as informações do paciente, por conseguinte, são inseridas em janelas gráficas no seguinte padrão:

- Na primeira janela, o nome do paciente é inserido, assim como exemplificado na Fig. 4.
- Na segunda janela, a idade do paciente em meses é adicionada, tal qual apresentado na Fig. 5.
- Nas próximas janelas os questionários para cada EDEFs são informados, assim, cada EDEF possui uma janela que aparece a depender da idade do paciente. Como apresentado na Fig. 6.

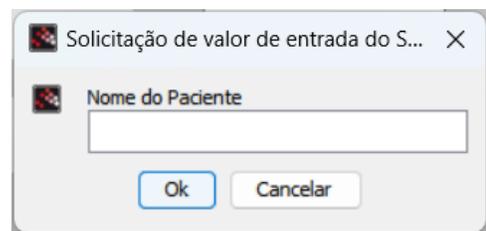


Fig. 4. Janela gráfica para inserir o nome do paciente.

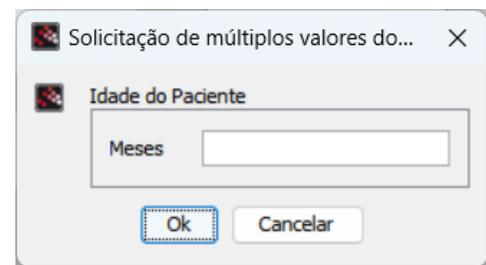


Fig. 5. Janela gráfica para inserir a idade do paciente.

Fig. 6. Janela gráfica para inserir os dados do EDEF 1.

Após esse procedimento, os dados são apresentados na interface e, caso o paciente não tenha idade para ser avaliado em algum EDEF, a mensagem “Não avaliado” será apresentada nas colunas 2 e 3 da interface. Além disso, os arquivos “nome do paciente.txt” (contém as entradas e saídas de cada EDEF) e “nome+idade.txt” (contém a idade do paciente) são gerados e armazenado na pasta em que o código da interface está armazenado. O arquivo “interações.txt” é carregado e incrementado em uma unidade cada vez que o processo do botão “Dados” é realizado, com o intuito de registrar a quantidade de vezes que a plataforma foi utilizada.

A fim de possibilitar que o profissional consiga observar os dados de pacientes já analisados, o botão “Carregar” foi adicionado. Este carrega as informações armazenadas nos arquivos “nome do paciente.txt” e “nome+idade.txt” e os exibe na janela principal. Nesse caso, o arquivo “interações.txt” não apresenta nenhuma alteração.

O botão “reportar” foi adicionado para reportar um erro nos dados apresentados nesse momento na interface. Sob essa ótica, duas janelas gráficas são apresentadas: a primeira, é visualizada na Fig. 7, informa quais níveis possuem erro e quais não possuem; a segunda janela, apresentada na Fig. 8, solicita que o especialista informe qual o nível qualitativo esperado na saída. Existe um arquivo “erros.txt” para cada EDEF, nesse arquivo está contido as amostras com erro, o nível qualitativo obtido e esperado (reportado) e seu índice (nível desenvolvido), dessa forma, o arquivo é carregado e os dados reportados são adicionados. O arquivo “Erro.txt” inclui a quantidade de vezes em que um erro foi reportado e a cada operação completa desse processo, ele é carregado, incrementado em uma unidade e salvo. Desse modo pode ser realizado um balanço da quantidade de vezes em que a plataforma é utilizada e a quantidade de erros reportados. O botão encerrar é utilizado para fechar a interface e encerrar as operações.

V. TESTES E RESULTADOS

A validação da plataforma desenvolvida foi realizada utilizando os conjuntos de teste de cada sistema, comparando os resultados esperados (presentes nas amostras coletadas por intermédio do especialista), com os obtidos pelo sistema. Para ambos os sistemas, o treinamento foi realizado usando como critério de parada $e = 0,015$. Como métrica para validar a metodologia, foi utilizado o erro máximo absoluto, e o erro

Fig. 7. Janela para informar qual EDEF possui erro.

Fig. 8. Janela para informar o nível esperado.

médio quadrático expresso por:

$$e^{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i^e - y_i^s)^2} \times 100\% \quad (9)$$

onde n é o número de amostras usadas na validação, y^e é a resposta esperada pelo processo e y^s é a resposta obtida pelo sistema.

Não foi possível realizar a comparação do sistema desenvolvido com outros já projetados, pois o autor não teve acesso a trabalhos que tratem especificamente desta abordagem computacional aplicada a este caso de facilitar o diagnóstico de transtornos de neurodesenvolvimento.

A. Sistema EDEF 1

Para o EDEF 1 foram selecionadas 13 amostras para validação do sistema (aproximadamente 20% da base de dados disponível). Na figura 9 é apresentada a comparação entre a resposta esperada e a resposta obtida.

Observa-se que o sistema proposto possui uma resposta muito próxima à esperada. Para analisar os resultados, a tabela III apresenta o erro médio quadrático e o erro absoluto para as saídas do sistema.

TABLE III
ERROS MÁXIMOS E MÉDIOS DO SISTEMA PARA EDEF 1

Erro quadrático médio	Erro máximo absoluto
2,37%	6,97%

Esses resultados indicam que as respostas fornecidas por esse sistema são válidas, uma vez que o erro máximo é relativamente pequeno, de forma que a resposta obtida (aproximadamente 0,33) está classificada no mesmo grupo da resposta esperada (aproximadamente 0,39), que é o nível com suporte.

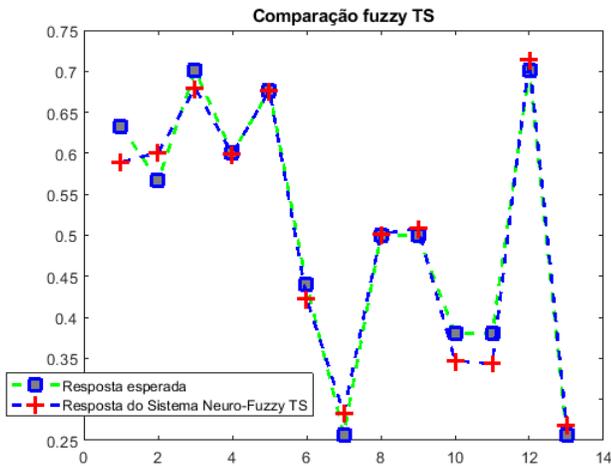


Fig. 9. Comparação entre a resposta desejada e os resultados obtido pelo sistema nebuloso na análise do EDEF 1.

B. Sistema EDEF 2, 3 e 4

Os EDEFs 2, 3 e 4, os quais possuem 6 questões cada, são analisados separados do EDEF 1, visto que ele apresenta apenas 3 questões. O conjunto de teste deste sistema consiste em 40 amostras geradas e selecionadas aleatoriamente. As comparações das respostas obtidas e esperadas são apresentadas na figura 10.

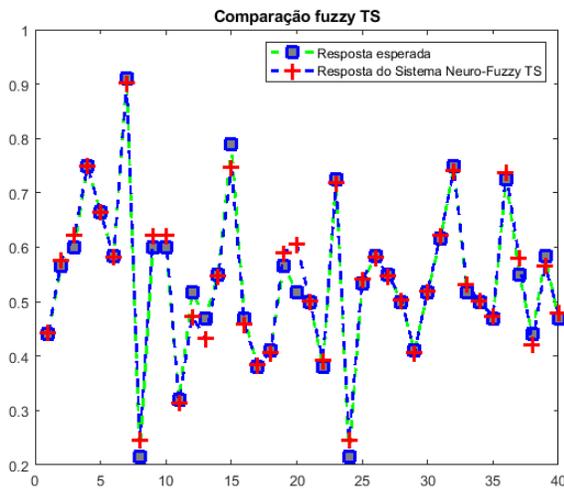


Fig. 10. Comparação entre a resposta desejada e os resultados obtido pelo sistema nebuloso na análise do EDEF 2.

Observa-se que o sistema proposto possui uma resposta muito próxima à esperada. Para analisar os resultados, a tabela IV apresenta o erro médio quadrático e o erro absoluto para as saídas do sistema.

Esses resultados indicam que as respostas fornecidas por esse sistema são válidas, uma vez que a amostra responsável pelo erro percentual máximo, possui como resultado esperado 0,5167 enquanto o resultado obtido é de 0,5918, observa-se

TABLE IV
ERROS MÁXIMOS E MÉDIOS DO SISTEMA PARA EDEFs 2, 3 e 4

Erro quadrático médio	Erro máximo absoluto
2,22%	8,9%

que ambos estão classificados para o conjunto “com suporte” (observe as colunas 4 e 5 da tabela II), sendo assim o teste não apresentou problemas críticos na classificação nem na pertinência de suas saídas.

VI. CONCLUSÃO

O diagnóstico de TNDs pode ser complexo devido à variedade de situações em que o paciente está inserido, o que torna difícil identificá-lo prontamente. A utilização de uma ferramenta que possa agilizar o diagnóstico é de grande utilidade, visando possibilitar um tratamento precoce. Visto o potencial de um sistema que auxilie no diagnóstico de TND, é proposto neste trabalho um sistema de inferência neuro-nebuloso que segue o modelo Takagi-Sugeno para implementação de regras. A ferramenta desenvolvida e discutida no decorrer deste artigo apresenta efetividade para realização das atividades propostas inicialmente, podendo agir de forma conjunta com o profissional psicólogo buscando o diagnóstico preciso e um tratamento adequado ao indivíduo.

REFERENCES

- [1] M. Roselli and A. Ardila, “Historia de la Neuropsicología infantil”, *Edupsykhé*, vol. 15, n.º1, jul. 2016.
- [2] WHO-FIC Foundation, “ICD-11 for mortality and morbidity statistics”, *Who.int*. [Online]. Available: <https://icd.who.int/browse11/l/en#/http%3a%2f%2fid.who.int%2fid%2fentity%2f334423054>.
- [3] American Psychiatric Association, “Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th Edition”, American Psychiatric Publishing, 2013.
- [4] S.I. Greenspan, “Filhos Emocionalmente Saudáveis, Íntegros, Felizes, Inteligentes.” Rio de Janeiro: Campus, 2000.
- [5] A. Sumbul, R. Pravinth, G. Yonis, “Investigation of Machine Learning Methods for Early Prediction of Neurodevelopmental Disorders in Children”, *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2022, Article ID 5766386, 12 pages, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5766386>
- [6] G. Kaur e D. Kakkur, “Fuzzy Based Integrated Diagnostic System for Neurodevelopmental Disorders”, 2019 6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), Noida, Índia, 2019, pp. 132-136, doi: 10.1109/SPIN.2019.8711674.
- [7] M. Mengi, D. Malhotra, “Artificial Intelligence Based Techniques for the Detection of Socio-Behavioral Disorders: A Systematic Review.” *Arch Computat Methods Eng* 29, 2811–2855 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09682-8>
- [8] B. H. M. M. Montel, D. S. Pires, B. S. Pires, & Rocha Filho, O. D. (2021, October). “Sistema Fuzzy para análise dos Níveis de desenvolvimento emocional e funcional baseado no modelo DIR/Floortime.” In *Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente-SBAI (Vol. 1, No. 1)*
- [9] S.I. Greenspan, “A evolução da Mente: As origens da inteligência e as novas ameaças a seu desenvolvimento.” Rio de Janeiro: Record, 1999.
- [10] S.I. Greenspan, and Greenspan, N.T. “Entrevista Clínica com Crianças.” Porto Alegre: Artes Médicas, 2nd edition, 1993.
- [11] S.I. Greenspan, S. E WIEDER, “Engaging autism – using the Floortime approach to help children relate, communicate and think.” Cambridge: Da Capo Lifelong Books, 2006.
- [12] M. G. Simões, & Shaw, I. S. (2007). “Controle e modelagem Fuzzy” (2^a ed.). São Paulo, SP: Edgard Blucher.
- [13] S., Sandra; C., Cláudio, “Lógica Nebulosa”, em *V Escola de Redes Neurais*, Promoção: Conselho Nacional de Redes Neurais, pp. c073-c090, ITA - São José dos Campos, São Paulo, 1999.

- [14] J.-S. R. Jang, C.-T. Sun, and E. Mizutani, (1997) *Neuro-fuzzy and soft computing: A computational approach to learning and machine intelligence*: United States edition. Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- [15] B.S. Pires, (2020). *Dir e a neuropsicologia: Pontos de intersecção*.
- [16] L.X. Wang, *A Course in Fuzzy Systems and Control*, ISBN 9780135408827, Prentice Hall PTR, 1997.
- [17] Denai, M. A., Palis, F., and Zeghib, A. (2004, October). ANFIS based modelling and control of non-linear systems: a tutorial. In *2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE Cat. No. 04CH37583)* (Vol. 4, pp. 3433-3438). IEEE.
- [18] Jang, J. S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23(3), 665-685.