*Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica*
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

# SISTEMA ESPECIALISTA PARA VALIDAÇÃO DE ALAGAMENTOS URBANOS UTILIZANDO VISÃO COMPUTACIONAL E LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA

# EXPERT SYSTEM FOR VALIDATING URBAN FLOODS USING COMPUTER VISION AND ANNOTATED PARACONSISTENT LOGIC

Frank Augusto Neri De Oliveira, Alessandro Ferreira Paz Lima

Fatec Praia, Grande Faculdade de Tecnologia, Curso de Desenvolvimento de Software Multiplataformas
E-mail para contato: frankoliveiradev@gmail.com
Universidade Santa Cecília, Mestrado em Engenharia Mecânica
E-mail para contato: alessandro.lima@unisanta.br

*RESUMO – O monitoramento de alagamentos urbanos enfrenta o desafio constante da mitigação de alarmes falsos gerados por anomalias em sistemas de visão computacional. Este trabalho apresenta o desenvolvimento do RuaLivreIA, um sistema especialista aplicado em Praia Grande-SP que integra redes neurais convolucionais (YOLOv11) e visão computacional clássica (OpenCV) sob a orquestração da Lógica Paraconsistente Anotada de dois valores (LPA2v). O objetivo é tratar o conhecimento incerto em imagens de vias públicas. A metodologia baseia-se na aplicação do algoritmo Nó de Análise Paraconsistente (NAP), que calcula os Graus de Certeza (Gc) e Contradição (Gct), extraindo o Grau de Certeza Real (GER) e o Grau de Evidência Resultante Real (μER) referentes a evidências sobre determinada proposição P. Os resultados demonstram que o sistema identifica inconsistências visuais de forma autônoma, ajustando o risco real e evitando acionamentos indevidos. Conclui-se que a abordagem híbrida eleva significativamente a confiabilidade do monitoramento urbano em tempo real.*

**Palavras-chave:** Visão Computacional; Lógica Paraconsistente; Inteligência Artificial; Sistemas Especialistas; Cidades Inteligentes.

*ABSTRACT – The monitoring of urban floods faces the constant challenge of mitigating false alarms generated by anomalies in computer vision systems. This paper presents the development of RuaLivreIA, an expert system applied in Praia Grande-SP that integrates convolutional neural networks (YOLOv11) and classical computer vision (OpenCV) orchestrated by Two-Valued Annotated Paraconsistent Logic (LPA2v). The objective is to handle uncertain knowledge in images of public roads. The methodology is based on the application of the Paraconsistent Analysis Node (PAN) algorithm, which calculates the Degrees of Certainty (Gc) and Contradiction (Gct), extracting the Real Degree of Certainty (GER) and the Real Resultant Degree of Evidence (μER) based on evidence related to a proposition P.*

ISSN 2317-1316

*The results demonstrate that the system autonomously identifies visual inconsistencies, adjusting the real risk and preventing undue triggering. It is concluded that the hybrid approach significantly increases real-time urban monitoring reliability.*

**Keywords:** Computer Vision, Paraconsistent Logic, Artificial Intelligence, Expert Systems, Smart Cities.

# 1. INTRODUÇÃO

O monitoramento de alagamentos em áreas urbanas costeiras, como na baixada santista, que possui uma altitude média de apenas 3 metros, apresenta desafios críticos de segurança e zeladoria pública. Sistemas tradicionais de detecção baseados estritamente em visão computacional e redes neurais profundas de detecção de objetos em tempo real [1] frequentemente sofrem com a emissão de alarmes falsos gerados por anomalias visuais, como reflexos de luz em asfalto molhado ou distorções causadas por chuva e tráfego de veículos [2].

Quando sistemas especialistas utilizam a Lógica Clássica para o tratamento dessas informações, eles encontram graves dificuldades na tomada de decisão, pois os dados oriundos do mundo real frequentemente se apresentam de forma incompleta, ambígua, complexa, vaga ou contraditória, gerando o chamado Conhecimento Incerto [3]. Para que um sistema especialista possa concluir e acionar as ações correspondentes de mitigação de risco com eficácia, os resultados do tratamento dessa incerteza devem ser significativos, claros e suficientemente precisos. Em cenários de contradição — por exemplo, quando a textura clássica de rugosidade da pista obtida por operadores de bordas [4] conflita com o formato estrutural lido por uma rede neural —, a Lógica Clássica entra em colapso devido ao princípio da explosão, inviabilizando o diagnóstico autônomo [5].

Para contornar essa limitação, o presente estudo tem como objetivos desenvolver e validar o sistema RuaLivreIA, uma estrutura computacional que propõe o agrupamento de duas abordagens da Inteligência Artificial: o Aprendizado de Máquina (YOLOv11) e o Conhecimento Artesanal (OpenCV). A orquestração e fusão dessas fontes de informação é realizada por meio de Redes de Análises Paraconsistentes (RAPs) estruturadas para a monitoração de variáveis dinâmicas e mitigação de risco em tempo real [6].

ISSN 2317-1316

Essa arquitetura de monitoramento é fundamentada na Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v), uma lógica não clássica capaz de suportar entradas contraditórias em sua base de conhecimento sem que o sistema sofra os efeitos colaterais da trivialização [7]. Em sua fundamentação, os valores de μ (grau de evidência favorável à proposição P) e λ (grau de evidência desfavorável à mesma proposição) formam uma anotação que alimenta o algoritmo do Nó de Análise Paraconsistente (NAP) [8]. O NAP atua como o filtro lógico responsável por extrair gradativamente os efeitos nocivos da contradição entre os sensores visuais [9], calculando as variáveis no Reticulado de Hasse por meio do Grau de Certeza ($Gc$) e do Grau de Contradição ($Gct$) [10]:

$$Gc = \mu - \lambda$$

$$Gct = \mu + \lambda - 1$$

A partir destas duas equações são compostos os estados lógicos paraconsistentes que estão localizados em um Reticulado de quatro vértices associado à LPA2v. Nos vértices associado à LPA2v estão representados os estados lógicos extremos definidos como: Inconsistente (⊤), Falso (F), Verdadeiro (V) e Indeterminado (⊥). Como os valores dos graus de evidência estão contidos no intervalo fechado [0,1] e pertence ao conjunto dos números reais, podem existir localizados no reticulado infinitos estados lógicos paraconsistentes. A algoritmo NAP- Nó de Análise paraconsistente [8] extrai o efeito da contradição e apresenta em sua saída o Grau de Evidência Resultante Real ($\mu ER$), , obtido por:

$$\mu ER = \frac{GcR + 1}{2}$$

Onde GcR = Grau de Certeza Real, resultando da projeção do estado lógico no eixo dos graus de certeza, horizontal do Reticulado.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O tipo de pesquisa realizada caracteriza-se como experimental e de simulação, desenvolvida em ambiente computacional utilizando a linguagem Python e o *framework* FastAPI. O sistema RuaLivreIA processa frames de câmeras de monitoramento através de dois

ISSN 2317-1316

algoritmos especialistas rodando em paralelo, extraindo informações que comporão uma anotação (*An*) que, através de equações paraconsistentes,

O processamento do conhecimento é realizado por meio de uma anotação formada por dois graus de evidência ($\mu$, $\lambda$), relacionados à proposição "P: Existe grave risco de alagamento". A extração dos graus de evidência para a proposição P é descrita a seguir:

1 **Extração do grau de Evidência Favorável ($\mu$) à proposição P:** Obtido através do modelo YOLOv11, que fornece o nível de confiança na detecção semântica da lâmina d'água no cenário urbano.

2 **Extração do grau de Evidência Desfavorável ($\lambda$) à proposição P:** Obtido por um algoritmo de Visão Clássica (filtro de Canny no OpenCV), modelado para quantificar a densidade de arestas e buscar a ausência de superfícies lisas típicas de alagamentos.

A partir do posicionamento lógico no reticulado, aplica-se uma transformação para extrair o Grau de Evidência Resultante Real ($\mu ER$), limpo dos efeitos de contradição, obtido por:

$$\mu ER = \frac{GcR + 1}{2}$$

Finalmente, este valor atua como multiplicador paramétrico ajustando o Índice de Periculosidade por Ponto (IPP), determinando a severidade do alerta emitido pelo sistema.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de validar a capacidade do Nó de Análise Paraconsistente (NAP) em lidar com incertezas e contradições oriundas do mundo físico, o sistema RuaLivreIA foi submetido a ensaios operacionais em três cenários urbanos críticos de monitoramento contendo anomalias e falhas visuais. Os graus de evidência extraídos em cada situação e as variáveis geométricas de certeza ($Gc$), contradição ($Gct$), distância lógica (d), certeza real ($GER$) e evidência resultante real (μER) estão sumarizados na Tabela 1.

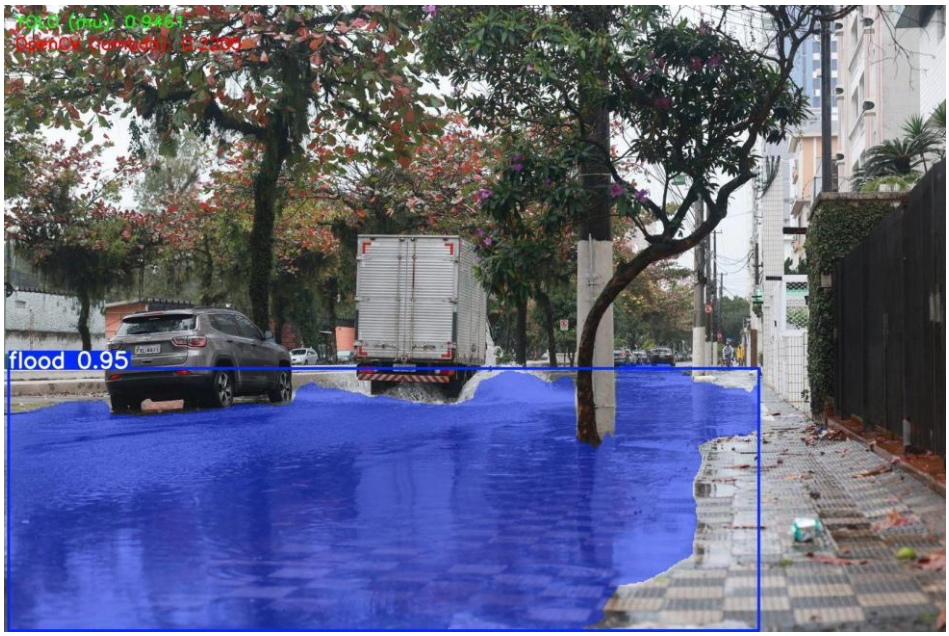
ISSN 2317-1316

Tabela 1. Resultados da análise paraconsistente nos três cenários de estresse.

| Cenário Analisado | YOLO ($\mu$) | OpenCV ($\lambda$) | Certeza ($Gc$) | Contradição ($Gct$) | Distância (d) | Certeza Real ($G$ER) | Real ($\mu ER$) | Estado Lógico |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Turbulência (Antes do Ajuste) | 0.9461 | 1.0000 | -0.0539 | 0.9461 | 1,3380 | 0,0000 | 0,5000 | INCONSISTENTE |
| 1. Turbulência (Pós-Ajuste Gaussiano | 0.9461 | 0.2205 | 0.7256 | 0.1666 | 0,3210 | 0,6790 | 0,8395 | VERDADEIRO |
| 2. Reflexo em Canteiro (Falso Positivo) | 0.3755 | 0.0886 | 0.2869 | -0.5359 | 0,8920 | 0,1080 | 0,5540 | PARACOMPLETO |
| 3. Falha de Detecção (Falso Negativo) | 0.0000 | 0.1313 | -0.1313 | -0.8687 | 1,2285 | 0,0000 | 0,5000 | PARACOMPLETO |

O primeiro cenário explorou uma via alagada sofrendo intensa turbulência gerada pela passagem de um veículo de carga (caminhão espirrando água), conforme mostra a Figura 1.

Figura 1: Teste de identificação de alagamento sob turbulência.



ISSN 2317-1316

Inicialmente, o Especialista 1 (YOLOv11) identificou o contexto e retornou uma alta evidência favorável para o alagamento, registrando μ = 0,9461. Contudo, o Especialista 2 (OpenCV), devido aos respingos e marolas gerados pelo veículo, detectou uma altíssima densidade de arestas e rugosidades na superfície da água, retornando uma evidência desfavorável máxima de λ = 1,0000.

Aplicando-se o algoritmo do NAP, o sistema obteve Grau de Certeza $G$c = -0,0539 e Grau de Contradição $G$ct = 0,9461. Devido ao alto conflito de informações, o cálculo da distância lógica no reticulado resultou em d = 1,3380. Como a distância excedeu o limite unitário de consistência ($d \geq 1$), o algoritmo extrator de efeitos da contradição anulou o Grau de Certeza Real ($G$ER = 0,0000), o que fez o Grau de Evidência Resultante Real recuar para μER = 0,5000. O sistema posicionou a leitura de forma segura no estado lógico **INCONSISTENTE**, retendo o acionamento de alertas de emergência espúrios e exigindo intervenção humana. Este comportamento demonstrou a robustez do sistema híbrido em não confiar cegamente em uma única rede neural profunda sob condições ambientais adversas.

Em uma segunda rodada de testes sobre o mesmo cenário, foi realizado um ajuste fino aplicando-se um filtro Gaussiano com matriz de desfoque de 15x15 no processamento do OpenCV, com o objetivo de atenuar os ruídos texturais das marolas. Sob essa nova configuração, o OpenCV passou a avaliar a textura da via de forma satisfatória, reduzindo a evidência desfavorável para λ = 0,2205. Recalculando-se as equações do NAP, obteve-se Grau de Certeza de $G$c = 0,7256 e baixo Grau de Contradição de $G$ct = 0,1666.

A diminuição do conflito reduziu a distância euclidiana lógica para d = 0,3210. Com ($d<1$) e tendência positiva, o Grau de Certeza Real foi calculado em $G$ER = 0,6790, projetando uma tomada de decisão final com μER = 0,8395. O Estado Lógico migrou assertivamente para **VERDADEIRO**, confirmando a inundação de maneira robusta. Consequentemente, o Índice de Periculosidade por Ponto (IPP) da Defesa Civil foi devidamente ajustado para "Moderado" e os alertas correspondentes foram acionados.

ISSN 2317-1316

Figura 2: Mitigação de falso positivo em canteiro central.




O YOLOv11 delimitou erroneamente a região sombreada como água acumulada com uma confiança de μ = 0,3755. O OpenCV, ao identificar a presença de rugosidade asfáltica padrão, gerou pouca objeção, retornando λ = 0,0886. Em sistemas baseados em Lógica Clássica ou limiares simples de decisão, esse ruído visual de detecção poderia disparar um alarme falso indesejado. Contudo, a modelagem paraconsistente detectou um Grau de Contradição altamente negativo de $G$ct = -0,5359 na porção inferior do reticulado, resultando em uma distância lógica de d = 0,8920.

A extração dos efeitos da indeterminação filtrou a leitura, estabelecendo o Grau de Certeza Real em apenas $G$ER = 0,1080. Com isso, o Grau de Evidência Resultante Real estabilizou-se em μER = 0,5540, posicionando a leitura no estado PARACOMPLETO (estado de indefinição paracompleta). Por estar muito próximo ao limiar de neutralidade (0,5000), o sistema barrou de forma eficiente o disparo do alarme indevido.

ISSN 2317-1316

Por fim, o terceiro cenário (Figura 3) explorou uma falha de detecção da rede neural (falso negativo) sob condições de iluminação desfavorável.

*Figura 3: Identificação de falha de detecção da IA (falso negativo).*




Em uma via inquestionavelmente inundada, a rede de aprendizado profundo YOLOv11 falhou totalmente em identificar a água, registrando evidência favorável nula (μ = 0,0000). Contudo, a ausência de arestas na água lisa fez o OpenCV apontar uma baixa evidência desfavorável (λ = 0,1313), o que indica que a pista de fato não se encontrava seca.

Essa colisão silenciosa gerou um Grau de Contradição severo de $G$ct = -0,8687 devido à ausência de informações convergentes fortes. A distância lógica extrapolou a barreira de consistência (d = 1,2285 ≥ 1). O motor de inferência paraconsistente atuou anulando a certeza do sistema ($G$ER = 0,0000) e forçando a evidência resultante real de volta à neutralidade (μER = 0,5000). O diagnóstico classificou o ponto no estado PARACOMPLETO. Essa resposta paraconsistente preservou a segurança operacional do sistema de zeladoria metropolitana, pois

ISSN 2317-1316

emitiu um aviso de "Dúvida/Alerta Técnico" para auditoria humana direta em vez de ignorar falsamente o perigo de alagamento urbano.

## 4. CONCLUSÃO

O presente estudo atingiu com sucesso o objetivo de implementar e validar uma estrutura computacional baseada em Lógica Paraconsistente Anotada (LPA2v) para mitigação de alarmes falsos em monitoramentos urbanos. Os resultados provaram que o uso do Nó de Análise Paraconsistente (NAP) orquestrando o Aprendizado de Máquina com algoritmos determinísticos garante um tratamento de incertezas formidável. O sistema RuaLivreIA mostrou-se capaz de identificar inconsistências visuais, reter alarmes baseados em contradições e fornecer um grau de evidência real matematicamente seguro, estabelecendo um novo paradigma de confiabilidade para centros de controle de Defesa Civil. Como trabalhos futuros, sugere-se a expansão da base de testes para condições noturnas e de neblina severa.

## 5. DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Declaração de Uso de IA: Durante a elaboração deste trabalho, utilizou-se a ferramenta Gemini para estruturação metodológica e auxílio na revisão gramatical. O conteúdo gerado foi revisado, editado e validado pelos autores, que assumem total responsabilidade pelo texto final.

## 6. REFERÊNCIAS

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., Farhadi, A., “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection”, Proc. of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 779-788, 2016.

Russell, S., Norvig, P., “Inteligência Artificial”, 2. ed., Editora Campus, São Paulo, Brasil, 2004.

Da Costa, N.C.A., Abe, J.M., “Paraconsistência em informática e inteligência artificial”, Ciência e Cultura, Vol. 14, N. 39, 2000.

Gonzalez, R.C., Woods, R.E., “Processamento Digital de Imagens”, 3. ed., Editora Pearson, São Paulo, Brasil, 2009.

ISSN 2317-1316

Da Costa, N.C.A., Abe, J.M., Subrahmanian, V.S., "Remarks on annotated logic", Zeitschrift f. math. Logik und Grundlagen d. Math. 37, Vol. 37, pp. 561-570, 1991.

Da Silva Filho, J.I., "Monitoração de Sistemas utilizando as Redes de Análises Paraconsistentes", Revista Seleção Documental, n.56, pp. 11-20, Editora Paralogike, Santos, SP, Brasil, 2019.

Da Silva Filho, J.I., Métodos de interpretação da Lógica Paraconsistente Anotada com anotação com dois valores LPA2v com construção de Algoritmo e implementação de Circuitos Eletrônicos, in portuguese Ph D thesis, University of São Paulo, POLI/USP - São Paulo, 1999.

Da Silva Filho, J.I., Scalzitti, A., "Análises de Sinais de Informações em Lógica Paraconsistente Anotada", Revista Seleção Documental, n.14, pp. 22-26, Editora Paralogike, Santos, SP, Brasil, 2009.

Da Silva Filho, J.I., "Algoritmo Paraconsistente Extrator de efeitos da Contradição - ParaExtrctr", Revista Seleção Documental, n.15, pp. 1-10, Editora Paralogike, Santos, SP, Brasil, 2009.

[10] Da Silva Filho, J.I., "Introdução ao conceito de Estado Lógico Paraconsistente", Revista Seleção Documental, n.17, pp. 20-24, Editora Paralogike, Santos, São Paulo, Brasil, 2010.

[11] Da Silva Filho, J.I., Lambert-Torres, G., Abe, J.M., Inteligência Artificial com Redes de Análises Paraconsistentes, ISBN: 9788521616313, Editora LTC – Grupo GEN, Rio de Janeiro, 2008.

Côrtes, H.M., Santos, P.E., Da Silva Filho, J.I., "Monitoring electrical systems data-network equipment by means of Fuzzy and Paraconsistent Annotated Logic", Expert Systems with Applications, Vol. 187, p. 115904, 2022.

Da Silva Filho, J.I., Lambert-Torres, G., Abe, J.M., Uncertainty Treatment Using Paraconsistent Logic - Introducing Paraconsistent Artificial Neural Networks, IOS Press, Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Amsterdam, 2010.

Mario, M.C., Garcia, D.V., Da Silva Filho, J.I., Silveira Júnior, L., Barbuy, H.S., "Characterization and classification of numerical data patterns using Annotated Paraconsistent Logic and the effect of contradiction", Research, Society and Development, Vol. 10, N. 13, 2021.

Patrias, K., Wendling, D., "Citing medicine: the NLM style guide for authors, editors, and publishers", 2. ed., National Library of Medicine, Bethesda, MD, USA, 2007.