

## **STRUCTURAL DECISION SUPPORT IN MINING EXCAVATIONS ARC EFFECT APPLYING PARAconsistent LOGIC ANNOTATED WITH TWO VALUES IN COMPUTATIONAL ENGINEERING**

Paulo Roberto Schroeder de Souza<sup>1</sup>, Paulo de Mattos Pimenta<sup>2</sup>, Eduardo Mário Dias<sup>3</sup>, Sergio Luiz Pereira<sup>4</sup>, Ruy Cordeiro Accioly<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Laboratório Mecânica Computacional (f.rlara.dir@centropaulasouza.sp.gov.br)

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, Laboratório Mecânica Computacional, Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (ppimenta@usp.sp.gov.br)

<sup>3</sup>PEA-Grupo de Automação Elétrica em Sistemas Industriais – GAESI, Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (emdias@pea.usp.br)

<sup>4</sup>PEA-Grupo de Automação Elétrica em Sistemas Industriais – GAESI, Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (sergio@pea.usp.br)

<sup>5</sup>PEA-Grupo de Automação Elétrica em Sistemas Industriais – GAESI, Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (ruy.acc@terra.com.br)

**Abstract.** *This work intends to establish a relationship of solutions by applying Paraconsistent Logic Applied (LPA) in establishment of arches surrounding pressure of underground excavations in massive fractured, considering the hypothesis that such independent dimensions arise with arches of span between pillars or support structures and structural conditions are primarily dependent of the Massif, in the State of active strains , the form of the excavations and the angle of internal friction of the material. The considerations to be developed do not consider the effects of plate tectonics that expresses so catastrophic as earthquakes or extremely high voltage fields, in that it would not be feasible for reasons of safety or economy the lavra of ore or mineral raw materials. Emphasizes the need of scientific-technical research applying concepts of LPA for the definition of relationships that allow knowledge of go set between support points of pressure arc and concludes by discussing how developments can occur in view of the dynamic aspect of mining excavations.*

**Keywords:** *Paraconsistent Logic; arcs of pressure; subterranean excavations; mining excavations.*

**Resumo.** *O presente trabalho pretende estabelecer uma relação de soluções aplicando Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) em estabelecimento dos arcos de pressão no entorno das escavações subterrâneas em maciços fraturados, considerando a hipótese de que tais arcos se manifestem com dimensões independentes dos vãos entre pilares ou estruturas de apoio e sejam dependentes principalmente das condições estruturais do maciço, do estado de tensões atuante, da forma das escavações e do ângulo de atrito interno do material. As considerações a serem desenvolvidas não consideram os efeitos resultantes de tectonismo que se manifeste de forma catastrófica como terremotos ou campos de tensão extremamente elevados, em que não seria viável por motivos de segurança ou economia a lavra de minérios ou matérias primas minerais. Enfatiza-se a necessidade da investigação técnico-científica aplicando conceitos da LPA para a definição de relações que permitam o conhecimento do vão definido entre os pontos de apoio do arco de pressão e conclui-se discutindo como pode ocorrer sua evolução tendo em vista o aspecto dinâmico das escavações mineiras.*

**Palavras-chave:** *Lógica Paraconsistente; arcos de pressão; escavações subterrâneas; escavações mineiras.*

## **1. INTRODUÇÃO**

O presente trabalho pretende discutir uma proposta de novo método de cálculo de esforços para estabelecimento dos arcos de pressão no entorno das escavações subterrâneas em maciços, utilizando Lógica Paraconsistente Anotada de dois valores (LPA2v). Parte-se da hipótese de que tais arcos se manifestem com dimensões independentes dos vãos entre pilares ou estruturas de apoio e sejam dependentes principalmente das condições estruturais do maciço, do estado de tensões atuante, da forma das escavações e do ângulo de atrito interno do material. Enfatiza-se a necessidade da investigação técnico-científica, para a definição de relações que permitam o conhecimento de novas aplicações de cálculos definidos entre os pontos de apoio do arco de pressão e conclui-se discutindo como pode ocorrer sua evolução tendo em vista o aspecto dinâmico das escavações mineiras e de novas aplicações oriundas da Inteligência Artificial (IA).

### **1.1. O COMEÇO DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA**

As contradições ou inconsistências são comuns quando descrevemos partes do mundo real. Os Sistemas de Controle utilizados em Automação e Robótica e os Sistemas Especialistas utilizados em Inteligência Artificial funcionam em geral com base na Lógica Clássica, na qual a descrição do mundo é considerada por apenas dois estados. Em diversas situações nas quais é necessário analisar sinais provenientes de dados de informações incertas que geram contradição, esses Sistemas Binários não são eficientes.

A Lógica Paraconsistente nasceu da necessidade de se encontrarem meios de dar tratamento às situações contraditórias. Em muitos estudos, entre eles os encontrados em Subrahmaian (1991), Da Costa (1997) e Abe (1992), apresentam-se resultados que possibilitam considerar as inconsistências de um modo não trivial e por isso, tais lógicas se mostram mais propícias no enquadramento de problemas ocasionados por situações de contradições que aparecem quando lidamos com o mundo real. Neste capítulo apresentaremos os conceitos principais da Lógica Paraconsistente direcionados às aplicações e tratamento de sinais. O método que apresentamos é baseado em um tipo especial dessa lógica denominada de Lógica Paraconsistente Anotada, com anotação de dois valores LPA2v conforme apresentada em Da Silva Filho (1999) e posteriormente em [5] [14] [15].

## 1.2. A LÓGICA PARACONSISTENTE COMO MAIS UMA LÓGICA NÃO CLÁSSICA

A Lógica conhecida como Clássica foi criada e sustentada por rígidas leis, sem as quais não poderia existir. Representa uma linha de raciocínio lógico baseado em premissas e conclusões de um raciocínio binário, isto é, uma declaração é falsa ou verdadeira, não podendo ser ao mesmo tempo parcialmente verdadeira e parcialmente falsa. Com esta suposição, e a lei da não-contradição, pela qual uma declaração não pode contradizer a outra, todas as possibilidades foram cobertas pelas leis da Lógica Clássica, formando assim a base do pensamento lógico Ocidental. [6]

A lógica simbólica criada a partir da clássica permite representar as proposições por meios de símbolos. A proposição pode ser uma afirmação ou negação sobre alguma ideia, e são utilizados os seguintes métodos de representação, tabela 1. [6]

- As letras p, q, r, etc. são usadas para indicar as proposições;
- Os conectores são designados por meio de símbolos.

Tabela 1 – Proposições [6]

proposições	p	
	q	
	r	
conetivos	$\neg$	Não
	$\vee$	Ou
	$\wedge$	E
	$\leftrightarrow$	Equivalência
	$\rightarrow$	Implica

Na Lógica Clássica toda teoria que for inconsistente é trivial e vice-versa. Portanto, não há separação entre teorias inconsistentes e triviais. [6]

## 1.3. LÓGICA NÃO-CLÁSSICA

Outros estudos propuseram que no mundo real nem todas as situações podem ser classificadas simplesmente como verdadeiras ou falsas. Quando queremos precisão para descrever algo, fica difícil estabelecer limites que nos permitam afirmativas ou negativas a respeito da qualidade das coisas. Quase sempre os limites entre o “Falso” e “Verdadeiro” são indefinidos, incertos, ambíguos e até mesmo contraditórios. Muitas das afirmações humanas

não podem ser consideradas categoricamente “verdadeiras” ou “falsas”, ou “sim” ou “não”, como exigem as leis da Lógica Clássica. Para dar uma resposta mais satisfatória a problemas relacionados com situações não cobertas pela lógica clássica foram criadas as lógicas denominadas não-clássicas. [6]

#### 1.4. A PARACONSISTENCIA (LPA)

Uma LPA é uma classe de Lógica Paraconsistente que possui um reticulado associado que desempenha um papel sumamente importante na sua representação.

A LPA é uma classe de lógica Paraconsistente Evidencial que faz tratamento de sinais associados à anotações que permitem descrição e equacionamento por meio de Algoritmos. [7]

Na LPA as fórmulas proposicionais vêm acompanhadas de anotações. Cada anotação  $\mu$ , pertencente a um reticulado finito  $\mathcal{T}$  atribui valores à sua correspondente fórmula proposicional  $\rho$ . Considerando uma lógica evidencial, as anotações vêm representadas por Graus de Evidência ou Crença. Quando as proposições vêm acompanhadas de Anotações, ou Graus de Evidência, é possível a aplicação Real da Lógica Paraconsistente em Sistemas de Análise e tomada de decisão. A possibilidade de aplicar a Lógica Paraconsistente Anotada em áreas de Inteligência Artificial e correlatas, transforma-a em forte ferramenta para o tratamento do conhecimento incerto, incompleto ou inconsistente em I. A. [8]

A LPA pode ser estudada em um Quadrado Unitário no Plano Cartesiano (figura 1) no qual são inseridos os graus de Evidência Favorável (Crença)  $\mu$  e Graus de Evidência Desfavorável (Descrença)  $\lambda$ , sendo que através desses valores são calculados os graus de Certeza  $G_c$  e de Contradição  $G_{ct}$  conforme as equações abaixo:

Sendo:

$$\mu = \text{Grau de Evidência Favorável}$$

onde:  $\mu \in [0,1]$

$$P_\mu = \text{Proposição Anotada}$$

Grau de Evidência Desfavorável =  $\lambda$

$$\lambda = 1 - \mu$$

$$\lambda \in [0,1]$$

No Figura 1 verifica-se que podemos obter quatro situações possíveis:

- 1- Inconsistente; no ponto  $(1, 1) = T$
- 2- Verdadeira; no ponto  $(1, 0) = V$
- 3- Falsa; no ponto  $(0, 1) = F$
- 4- Paracompleta; no ponto  $(0, 0) = \perp$

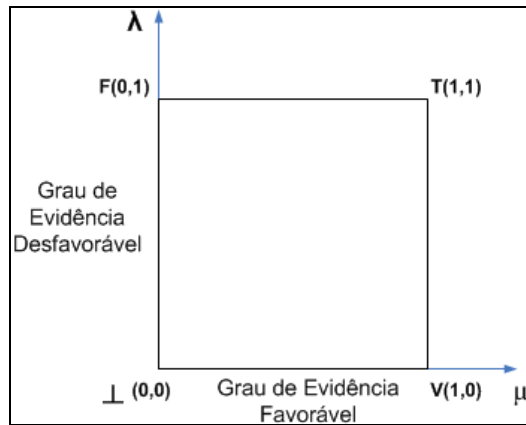


Figura 1 – Graus das Proposições [4]

A partir do Quadrado Unitário podemos calcular os valores dos Graus de Contradição  $G_c$  e dos Graus de Certeza  $G_c$  conforme as equações abaixo, figura 2.

$$G_c = \mu - \lambda \quad \text{e} \quad G_c = (\mu + \lambda) - 1$$

### Reticulado Associado da Lógica Paraconsistente Anotada

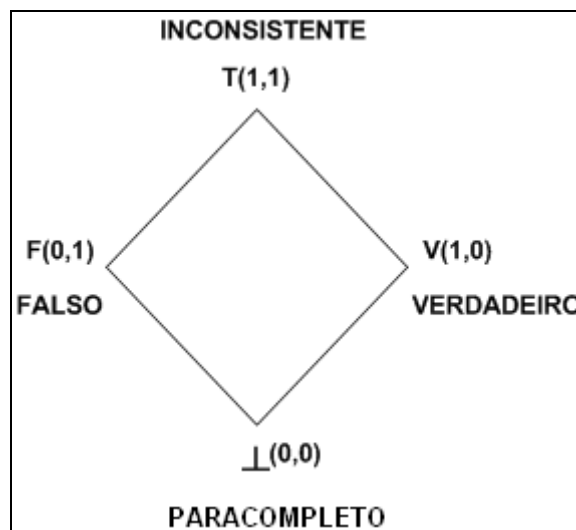


Figura 2 – Reticulado representativo da LPA [4]

Com o procedimento básico de interpretar os valores através de um Quadrado Unitário descrito no Plano Cartesiano, podemos ter valores diversos de  $G_{ct}$  e  $G_c$  a partir dos Graus de Evidência normalizados e, portanto, valorados na faixa entre 0 e 1, inclusive.

Os valores dos Graus de Certeza e de Contradição podem ser dispostos em dois Eixos: “Eixo dos Graus de Contradição  $G_{ct}$ ” e “Eixo dos Graus de Certeza  $G_c$ ” que são sobrepostos e se cruzam no ponto Paracompleto (0,0), onde os Graus de Evidências  $\mu$  e  $\lambda$  valem 0,5 para que isso aconteça, e representam o reticulado da LPA.

Pode-se verificar na figura 2 que para qualquer anotação, composta por valores de Graus de Crença e Graus de Descrença, obtém-se um ponto de Interpolação entre valores de Graus de Certeza e Graus de Contradição, que é pertencente ao reticulado da LPA (Figura 3).

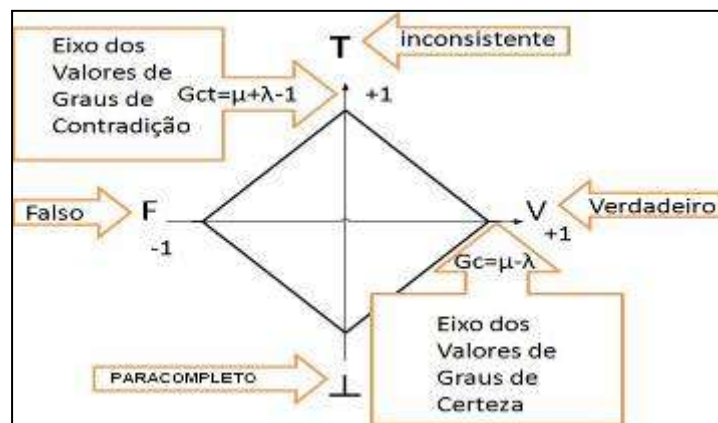


Figura 3 - Eixos dos Graus de Contradição e de Certeza [4]

Dessa forma podemos agora saber, para qualquer anotação, com valores de Graus de Evidência Favorável (Crença) e de Evidência Desfavorável (Descrença), quais são os valores do Grau de Certeza e de Contradição, relacionados a determinada proposição. Fazendo a interpolação dos dois valores, podemos obter a localização, no reticulado da LPA, do ponto resultante que se forma com as coordenadas dos respectivos Graus calculados. A tomada de decisão é feita relacionando-se o resultado do processamento das Evidências com a proximidade, ou não, de algum dos estados lógicos extremos localizados nos vértices.

## 2. ALGORITMOS DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA

Um algoritmo pode ser definido como sendo um processo, executado por meio de etapas sucessivas ou passos, com a finalidade de se conseguir um objetivo.

Como podemos equacionar os valores que compõem o reticulado representativo da LPA, podemos delimitar regiões internas e construir um algoritmo capaz de auxiliar na computação das evidências para a tomada de decisão. O algoritmo da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores LPA2v é denominado de “Algoritmo Para-Analisador”.

O algoritmo Para-Analisador é originado da descrição das regiões delimitadas do reticulado representativo da LPA2v, sendo uma relevante ferramenta para aplicações em um vasto campo de interesse tecnológico. Para a obtenção do algoritmo Para-Analisador delimitam-se  $N$  regiões no reticulado capazes de gerar  $N$  estados lógicos resultantes, cada um recebendo uma denominação que reflete o estado a que corresponde. [6]

Estes estados podem ser descritos com os valores do grau de certeza e grau de incerteza por meio de equações satisfatórias. Neste trabalho escolhemos a resolução 12 que é o número das regiões consideradas de acordo com a figura 4. No entanto a resolução é dependente na precisão da análise requerida na produção e pode ser adaptada de acordo com as aplicações.

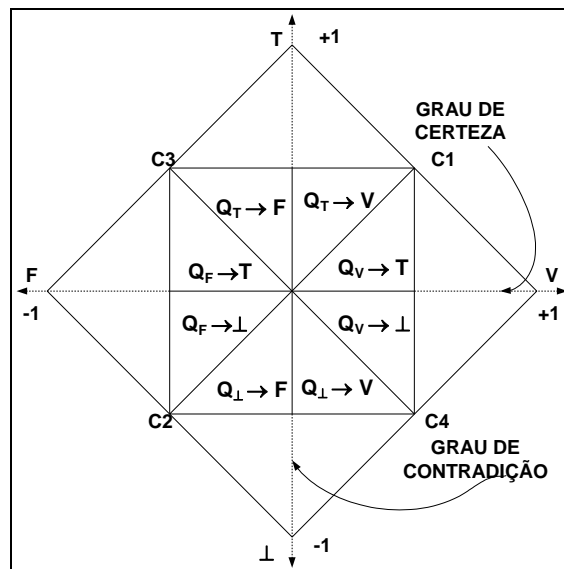


Figura 4. Representações de graus de Certeza e de Contradição [4]



Tabela 2 – Controle Legenda Estados Não Extremos [4]

	<b>Símbolo</b>
Quase-verdadeiro tendendo ao Inconsistente	$QV \rightarrow T$
Quase-verdadeiro tendendo ao Paracompleto	$QV \rightarrow \perp$
Quase-falso tendendo a Inconsistente	$QF \rightarrow T$
Quase-falso tendendo a Paracompleto	$QF \rightarrow \perp$
Quase-inconsistente tendendo ao Verdadeiro	$QT \rightarrow V$
Quase-inconsistente tendendo a Falso	$QT \rightarrow F$
Quase-paracompleto tendendo ao Verdadeiro	$Q\perp \rightarrow V$

Assim, tais valores de limite chamados Valores de Controle conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Máximos e Mínimos Valores de Controle [4]

$V_{cic} =$	Máximo valor de controle de incerteza	$= C_3$
$V_{cve} =$	Máximo valor de controle de certeza	$= C_1$
$V_{cpa} =$	Mínimo valor de controle de incerteza	$= C_4$
$V_{cfa} =$	Mínimo valor de controle de certeza	$= C_2$

Os estados principais são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Estados da Lógica [4]

<b>Estados Extremos</b>	<b>Símbolo</b>
Verdadeiro	V
Falso	F
Inconsistente	T
Paracompleto	$\perp$

### 3. EFEITO ARCO NAS ESCAVAÇÕES MINEIRAS

É de admirar-se a genialidade dos antigos engenheiros e arquitetos que, desde os primórdios da civilização, souberam valer-se de sua criatividade na construção de estruturas em rocha que desafiam os tempos. Um desses elementos estruturais mais notáveis é o arco romano que, como se pode observar nas fotografias a seguir, são tão estáveis que permanecem até nossos dias. [9]

Esse modelo estudado foi retirado do modelo de um caso do Departamento de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia de Tomar com Instituto Politécnico de Tomar (IPT), em o qual exemplificaremos a possibilidade de aplicação da LPA2v como sugestão para novas aplicações em Inteligência artificial possibilitando atuar na mecânica computacional. Na figura temos o início do estudo de um arco em estudo generalizado a partir da figura 5 e 6.



Figura 5 e 6. Ponte de alvenaria de pedra em Vila Fria Portugal [13]

Neste estágio de estudo feito através o AutoCAD verificou-se a Constancia dos arcos ocorrerem em diversos pontos, estudos que se verificam aplicações de arcos repetitivos por fazerem parte da estrutura de sustentação e precisarmos estudar apenas uma única unidade e assim podermos generalizar.

### Desenhos de Projetos em Auto CAD

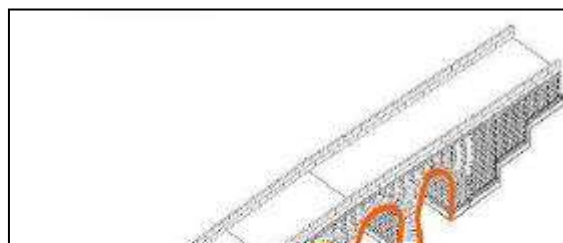


Figura 7. Características gerais de uma estrutura de ponte da Vila Fria. Portugal [13]

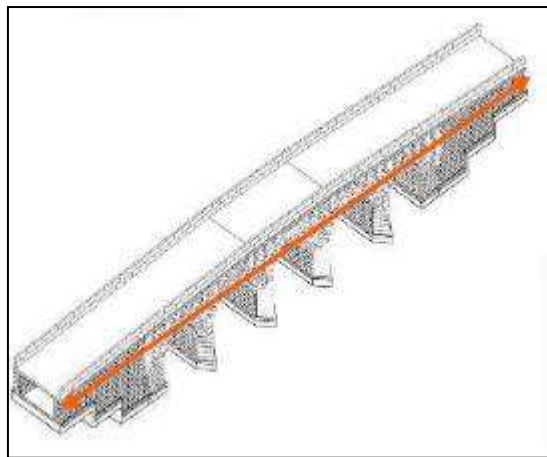


Figura 8. Descrição geral de uma estrutura da Vila Fria. [13]

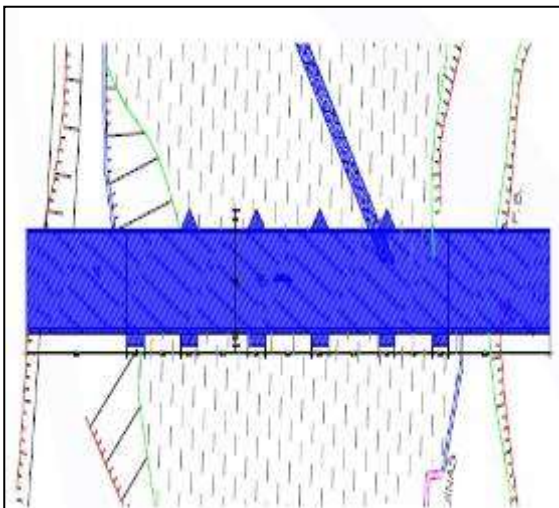


Figura 9. Análise de tensão da parte superficial da ponte [13]  
acima das aberturas e direcionada para os apoios produzindo uma redução das tensões na região do teto.

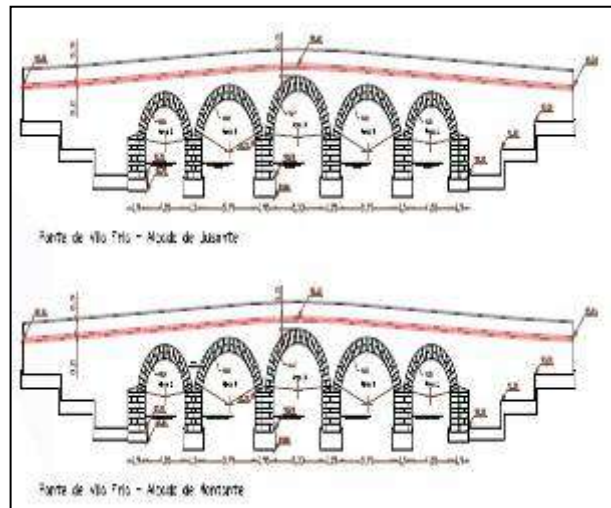


Figura 10. Avaliação das Estruturas [13]  
onte. ....te

acima das aberturas e direcionada para os apoios produzindo uma redução das tensões na região do teto.

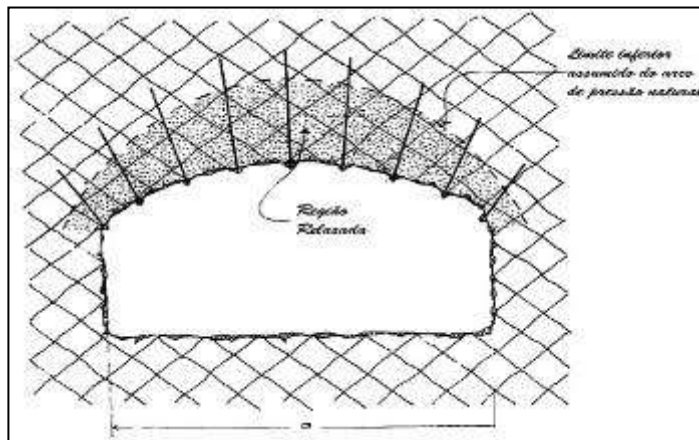


Figura 11. Arco de pressão em galeria retangular de teto em abóbada [11]

O efeito arco resulta então de uma redistribuição de tensões com um aumento da compressão sobre os pilares e apoios e uma conseqüente redução de tensão nos estratos imediatamente acima da abertura na rocha. [10]

O arco de pressão é ilustrado pela figura 11, que mostra as trajetórias de tensão e suas conseqüências concentrando sobre os apoios seus valores máximos, segundo a visão de Hergel, G. [12]

Entende-se que o arco de pressão assim estabelecido dependerá da concentração das tensões induzidas na periferia das escavações mesmo quando aparentemente independem da sua forma.

Fica, do exposto acima, a ideia da existência de um “arco natural” de pressão que ocorreria no teto das escavações, sempre que as condições características do maciço e do estado de tensões atuantes o permitissem. [10]

#### **4. ANÁLISE DA LÓGICA PARACONSISTENTE COMO FERRAMENTA PARA DEFINIÇÃO EQUILÍBRIO DAS FORÇAS E CONSIDERAÇÕES DE VALORES REAIS**

Inicialmente temos duas figuras 12 e 13 de estudo. A primeira está definida por partes geográficas do arco. Como foi dito anteriormente, a LPA2v possui a lógica de operar com dois especialistas (2v), nomeamos Especialista 1 e Especialista 2.

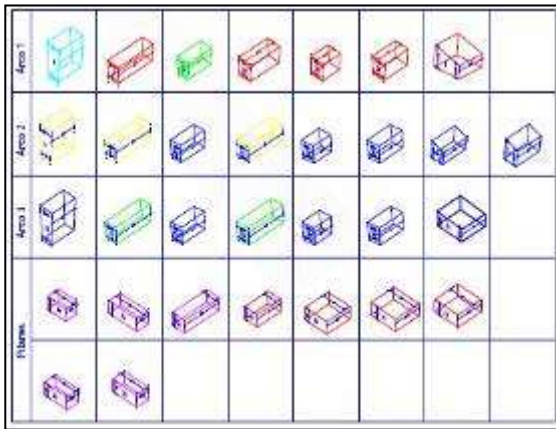


Figura 12. Partes geométricas do arco.

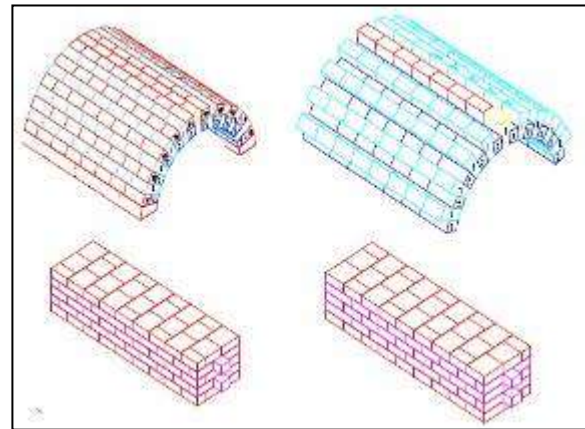


Figura 13. Arco e Base das colunas.

Seguimos a ideia que cada especialista desenvolve cada um a sua força expressada no arco, cada um deles exerce uma força em algum ponto de 1/2 do arco, do centro a uma extremidade e o outro especialista, do mesmo centro a outra extremidade oposta figura 13. Funcionando sempre em conjunto de dois especialistas poderemos obter um determinado ponto, que define seu oposto que é o ponto de equilíbrio do arco. Se mantivermos o ponto G do arco teremos o equilíbrio do Sistema, conforme figura 14.

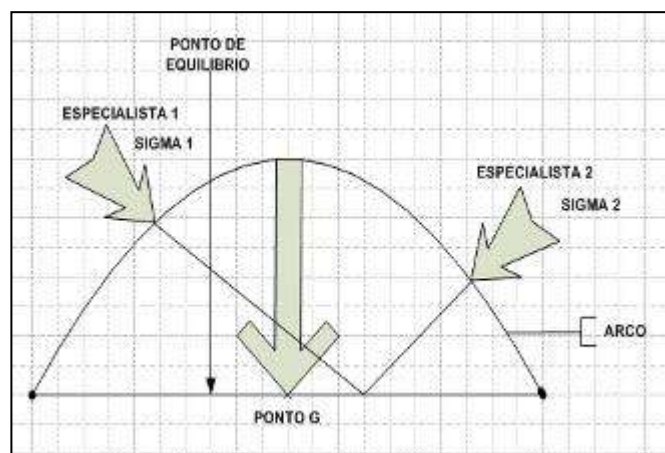


Figura 14. Arco com tensões aplicadas por valores diferentes considerando Especialistas 1 e 2.

Nesta aplicação verificamos para os valores sugeridos pelos especialistas, um cruzamento que ocorre através dos cálculos de Grau de Certeza (Gc) e do Grau de Contradição (Gct). [14]

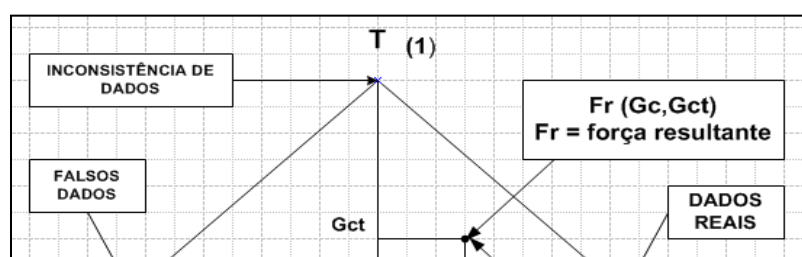


Figura 15. LPA2v  
(Fonte: Autor)

A figura 15 define o ponto da força resultante dessa aplicação, isso define que teremos sempre uma força  $F$  resultante para dois Especialistas. Com o conjunto de vários Especialistas, teremos uma força resultante que definirá como um todo o sistema definitivo. [16]

## 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho procuramos apresentar métodos para analisar conceitos teóricos da Lógica e construir o elo com o trabalho científico de investigação, objetivando a aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada com dois valores (LPA2v) em aplicações inovadoras na área da Engenharia Civil, como a sua aplicação, técnicas de Lógica Paraconsistente e Aplicações de Valores de tensões. Essas técnicas inseridas em ferramentas computacionais agregam valores formativos altamente positivos e seguros quanto à tomada de decisão.

As técnicas demonstradas aqui permitem que sejam construídas diferentes configurações para análise da Lógica Paraconsistente, até mesmo criar um modelamento nos estudos das tensões. Podemos verificar que valores podem ser determinados para justificar e definir valores que garantem o equilíbrio das tensões.

## REFERÊNCIAS

- [1] DA COSTA, N. C. A. & ABE, J. M. & SUBRAHMANNIAN, V.S. “*Remarks on Annotated Logic*” Zeitschrift für Mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik, Vol.37, pp.561-570,1991.
- [2] DA COSTA, N. C. A. ‘*O Conhecimento Científico. Discurso Editorial*’. São Paulo,1997.
- [3] ABE, J. M. *Fundamentos da Lógica Anotada*.1992. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, FFLCH/USP - São Paulo, 1992.
- [4] DA SILVA FILHO, J. I. *Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores LPA2v com construção de Algoritmo e Implementação de Circuitos Eletrônicos*. 1999. Tese de Doutorado. EPUSP, São Paulo, 1999.
- [5] DA SILVA FILHO, J. I. “*Lógica Paraconsistente e Probabilidade Pragmática no Tratamento de Incertezas*”. Revista Seleção Documental n. 9, - p 16-27 ano 3 - ISSN 1809-0648, Jan/Fev/Mar, 2007.
- [6] DA SILVA FILHO, J. I. & ABE, J. M. “*Introdução à Lógica Paraconsistente Anotada*” - Editora Emmy – 1.<sup>a</sup> Edição, 2000.
- [7] DA SILVA FILHO, J. I. & ABE, J. M. “*Fundamentos das Redes Neurais Paraconsistentes*”. *Destacando Aplicações em Neurocomputação*. Editora Arte & Ciência, ISBN 85-7473-045-9, 247 pp., 2001.
- [8] HECHT-NIELSEN, R. “*Neurocomputing*”. New York, Addison Wesley Pub. Co.,1990.
- [9] AYRES DA SILVA, L. A ; HENNIES,W.T.; RUSILO,L.C.; SANSONE,E.C. Dynamic aspects in the development of the pressure arch. In ISRM 8<sup>o</sup> International Congress on Rock Mechanics, Proceedings, pgs.467 - 470. Tokyo/Japan,1995. Rotterdam, A. A. Balkema, 1995.

- [10] AYRES DA SILVA, L. A. Contribuição ao dimensionamento de pilares de minas subterrâneas de manganês. São Paulo, 1989. 277p. Thesis - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- [11] STILLBORG, B. Professional users handbook for rock bolting, Switzerland, Trans Tech Publications, 1994.
- [12] HERGET, G. Stresses in rock. Rotterdam, A. A. Balkema, 1988.
- [13] COSTA, CRISTINA. Modelação e Análise Numérica de Pontes em Arco de Alvenaria de Pedra. Departamento de Engenharia Civil. Instituto Politécnico de Tomar (Ipt). Escola Superior de Tecnologia de Tomar.
- [14] SUBRAHMANIAN, V.S. On the “*Semantics of Quantitative Logic Programs*”. *Proc. 4th. IEEE Symposium on Logic Programming, Computer Society press, Washington D.C, 1987.*
- [15] DA SILVA FILHO, J.I. *et al.* ; ABE, J.M.; TORRES, G. L. “*Inteligência Artificial com Redes de Análises Paraconsistentes. Teorias e Aplicações*”. Ed.LTC. R.J., 2008.
- [16] SOUZA, P.R.S. “Métodos de apoio a decisão médica para análise em diabetes mellitus gestacional utilizando a probabilidade pragmática na lógica paraconsistente anotada de dois valores para melhor precisão de resposta”, Tese de Doutorado. Politécnica USP, abril de 2009.