

## **Estimativa da sobrepressão de uma explosão acidental de nuvem do gás acetileno em uma oficina mecânica na UFCG**

### **Estimation of overpressure from an accidental acetylene gas cloud explosion in a mechanical workshop at UFCG**

DOI:10.34115/basrv5n4-013

Recebimento dos originais: 04/07/2021

Aceitação para publicação: 04/08/2021

#### **Luis Eduardo Araújo Santos**

Mestrado pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Instituição: (Centro Universitário de Patos - UNIFIP)

Endereço: Rua Kival de Araújo Gorgônio, 321, Bairro: Conjunto Cinza – Campina Grande, Paraíba, CEP: 58423-525

E-mail: santomorenynho@gmail.com

#### **Samuel Barbosa Araújo**

Graduando pela Universidade Federal de Campina Grande UFCG

Instituição: (Estudante Universitário - UFCG)

Endereço: Rua Kival de Araújo Gorgônio, 321, Bairro: Conjunto Cinza – Campina Grande, Paraíba, CEP: 58423-525

E-mail: samuelbraujo@gmail.com

#### **Karla da Nobrega Gomes**

Mestrado, pela Universidade Federal de Campina Grande -UFCG

Instituição: (prefeitura Municipal de Condado)

Endereço: Rua Vicente Lourenço, 23, Bairro: Jardim Magnólia – Patos, Paraíba, CEP: 58705-576

E-mail: karlindagomes@hotmail.com

#### **Arnaldo Bezerra Lopes de Almeida**

Mestrado, pela Universidade Federal de Campina Grande -UFCG

Instituição: (Agencia Nacional de Mineração - ANM)

Endereço: Rua Antônio Barbosa de Meneses, 305 APT 1301, Bairro: Mirante – Campina Grande, Paraíba, CEP: 58407 – 673

E-mail: lopes.aa1976@gmail.com

#### **Cicero Alécio Rodrigues de Lima**

Mestrado pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Instituição: (Secretaria de Estado da Educação e da Ciência e Tecnologia - PB)

Endereço: Rua, 18, Bairro: Baixa Verde – Remígio, Paraíba, CEP:58398-000

E-mail: ciceroalecio@gmail.com

#### **Roberto Alan Ferreira Araújo**

Doutorado, pela Universidade Federal de Campina Grande UFCG

Instituição: (Centro Universitário de Patos - UNIFIP - PB)

Endereço: Rua Otavio Batista Cabral, 451, Bairro: Rocha Cavalcante – Campina Grande, Paraíba, CEP: 58423 – 215

E-mail: robertoalan.geotech@gmail.com

**Josyclesio Lima da Silva**

Mestrado, pela Instituição Universidade Federal da Bahia -UFBA

Instituição: (Centro Universitário - Unifacisa)

Endereço: Rua Jornalista Evandro Barros, 206, Bairro: Malvinas – Campina Grande,

Paraíba, CEP: 58433-545

E-mail: josyclesio.silva@gmail.com

**Vera Solange de Oliveira Farias**

Doutora na Universidade Federal de Campina Grande UFCG

Instituição: (Universidade Federal de Campina Grande- UFCG)

Endereço: Rua Manoel Elias de Araújo, 599, Bairro Jardim Tavares – Campina grande,

Paraíba, CEP: 58402-022

E-mail: vera.solange@professor.ufcg.edu.br

**RESUMO**

O principal objetivo deste trabalho foi aplicar uma estimativa da máxima sobrepressão envolvidos na liberação repentina de energia de uma explosão acidental com gás acetileno na Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Campina Grande, baseado na simulação no software ALOHA e na regulamentação da norma CETESB (2011). Foram analisadas a ocorrência de pequenos vazamentos e grandes vazamentos em cilindros contendo o gás acetileno, relacionando a pressão. Tal simulação permitiu dimensionar os impactos gerados em decorrência de uma explosão. Dessa forma, o trabalho expõe os riscos inerentes, pois um acidente com o transporte ou carga do gás acetileno decorrerá infalivelmente, em vítimas com elevados danos físicos e até fatais, atingindo áreas circunvizinhas.

**Palavras-Chave:** Explosão, Acetileno, Acidente.

**ABSTRACT**

The main objective of this work was to apply an estimate of the maximum overpressure involved in the sudden energy release of an accidental explosion with acetylene gas at the Academic Unit of Mechanical Engineering of the Federal University of Campina Grande, based on the simulation in the ALOHA software and the regulation of the standard CETESB (2011). It was analyzed the occurrence of small leaks and large leaks in cylinders containing the acetylene gas, relating the pressure. Such simulation allowed to size the impacts generated as a result of an explosion. In this way, the work exposes the inherent risks, since an accident with the transport or load of the acetylene gas will unfailingly happen, in victims with high physical and even fatal damages, reaching surrounding areas.

**Keywords:** Explosion, Acetylene, Accident.

**1 INTRODUÇÃO**

Em razão das propriedades químicas ou físicas, algumas substâncias representam grande perigo devido à probabilidade de ocorrer algum dano ao serem expostas a

determinadas condições ou se misturadas com outras. Entre os danos mais preocupantes, podem ser citados acidentes que envolvam intoxicação de seres humanos, contaminação do meio ambiente, incêndios e explosões. Geralmente, estes danos são proporcionais à quantidade da substância perigosa exposta a uma situação não controlada.

No mundo atual são frequentes os acidentes envolvendo segurança de processos e danos causados por indústrias químicas e petroquímicas e que, conseqüentemente, geram danos pessoais, materiais e ambientais (SERPA, 2002). Tais acidentes podem causar lesões leves ou graves em funcionários, podendo causar até mortes intramuros e nos arredores do empreendimento.

Substâncias tóxicas ou inflamáveis devem sempre estar contidas em receptáculos adequadamente projetados para suas respectivas propriedades e todos os processos aos quais serão submetidas deverão ser analisados criteriosamente quanto à probabilidade de ocorrer algum vazamento ou alguma reação com liberação de energia ou de subprodutos tóxicos.

A explosão é o tipo de acidente que apresenta alto potencial de perda econômica, potencial intermediário de fatalidades e probabilidade de ocorrência intermediária, quando comparada a incêndio e liberação tóxica. Incêndios tem alta probabilidade de ocorrência, mas baixo potencial de fatalidades, já liberações tóxicas apresentam alto potencial de fatalidades, mas baixa probabilidade de ocorrer (CROWL E LOUVAR, 2009). Portanto torna-se fundamental uma melhor compreensão do fenômeno da explosão e de sua modelagem, com o intuito de possibilitar a obtenção de resultados (sobrepessão da explosão) para a realização de uma Análise de Consequências, para que, com base nos resultados da análise, seja possível tomar medidas para evitar ou reduzir os danos de uma possível explosão.

A prevenção de acidentes de trabalho requer, em primeiro lugar, a identificação dos riscos e, em segundo lugar, a determinação de medidas para os resolver. Em conformidade, a avaliação de riscos, como princípio e prática, é essencial para a abordagem preventiva à segurança e saúde. A avaliação dos riscos ou perigos no trabalho é um princípio básico que deve ser promovido através da política nacional relativa a SST, devendo o programa de SST basear-se nos princípios da avaliação e gestão dos riscos e perigos, em particular no local de trabalho, onde a avaliação dos riscos é uma ferramenta prática para a melhoria da segurança e saúde.

Gás acetileno é utilizado nos maçaricos e ferramentas de solda, sendo armazenado em cilindros. Esse tipo de material mal manipulado em oficinas mecânicas pode provocar vazamento acidental de gás necessário para desencadear uma explosão em nuvem.

Entre os anos de 2014 e 2016, no Brasil, houveram 29 mortos e 213 feridos por acidentes com gás inflamável. Observa-se que o maior índice de acidentes se encontra no Sudeste do país que se justifica o maior contingente da população e como o maior número de indústrias, e oficinas clandestinas, que aumentam drasticamente o índice de acidentes pelo mau manuseio do equipamento.

Diante das diversas catástrofes que os acidentes podem causar em virtude do manuseio e armazenamento inadequado do cilindro de gás acetileno, o estudo do trabalho justifica-se mediante tais dados históricos, pois é de extrema importância pesquisas com foco no tema, que possam ajudar a prevenir e/ou mitigar os possíveis riscos e suas consequências.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVOS GERAIS**

Desta forma, o presente estudo tem por objetivo aplicar uma estimativa da máxima sobrepressão envolvidos na liberação repentina de energia de uma explosão acidental com gás acetileno.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Análise histórica de acidentes no contexto de explosão de gás acetileno;
- Estimativa de explosão com uso do software Aloha;
- Propor medidas de prevenção em mitigação para atenuar os impactos da explosão.

## **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1 ACIDENTE DE TRABALHO**

Conforme dispõe o artigo 19 da lei 8.813/1991, acidentes de trabalho são os que ocorrem pelo exercício do trabalho a serviço de uma empresa, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause morte, ou a perda ou redução, permanente ou temporária da capacidade para o trabalho (BRASIL, 1991, art. 29).

O acidente do trabalho pode ser visto e analisado através de várias abordagens, sendo elas sistêmica, social, legal, e também do ponto de vista econômico. A ocorrência

de acidentes do trabalho gera consequências traumáticas ocasionando na maioria das vezes mutilações, invalidez permanente, entre outros danos, que não se limitam ao corpo físico do trabalhador, afetando também sua integridade psicológica, chegando até a causar a morte do trabalhador com repercussões também para os familiares, inclusive para a sociedade de modo geral bem como para os cofres públicos.

Uma indústria química, por exemplo, oferecerá condições de trabalho mais arriscadas ao operador de uma máquina da produção do que uma empresa de serviços a um operador de telemarketing. Sobre essas condições, os pessoais e as de trabalho, dificilmente se poderá agir de forma categórica. Mas o mesmo não se pode dizer em relação aos atos e condições inseguros. Toda vez que um trabalhador se portar inadequadamente em relação aos seus instrumentos ou as suas atividades, estará cometendo um ato inseguro.

### 3.2 GASES COMBUSTÍVEIS - ACETILENO

Segundo Marques et.al (2006) combustíveis são substâncias, naturais ou artificiais, que ao se combinar com outras, geram uma reação exotérmica rápida, despreendendo luz e calor. Gases comerciais têm a característica em comum da necessidade do gás oxigênio para manter a reação de combustão. Um gás combustível bastante utilizado na indústria é o acetileno.

O acetileno, também conhecido como etino, não é encontrado na natureza, sendo obtido através do gás natural, do craqueamento do petróleo ou a partir do Carbetto de Cálcio ( $\text{CaC}_2$ ), sendo essa última a forma mais comum de obtenção. É um gás estável a temperatura e pressão ambiente, porém não se recomenda seu uso com pressões superiores a 1,5  $\text{Kg/cm}^2$ , onde o gás pode ficar instável e decompor-se explosivamente (Agostini, 2006). É inodoro e por causa disso acrescenta-se um aditivo para facilitar sua detecção olfativa em casos de vazamentos.

Quando se toma as precauções necessárias para o acetileno, ele pode ser utilizado e manuseado com segurança. Em caso contrário, perigosas explosões podem ocorrer. Apesar do acetileno normalmente existir como gás, ele pode mudar para o estado líquido a qualquer temperatura abaixo de sua temperatura crítica 36,1 °C, com aplicação de suficiente pressão.

O acetileno possui diversos usos nas indústrias, a partir dele são formados inúmeros compostos. O seu uso principal é como matéria prima para produção de plásticos, fibras têxteis e borrachas sintéticas. Alguns tipos de polímeros como o PVC

(policloreto de vinila) e PVA (poliacetato de vinila) também são obtidos através do acetileno. Ele também é usado para cortes de metais com uso de maçarico e na produção de objetos de vidro. Por algum tempo ele foi usado na iluminação de locais sem energia elétrica, isso porque quando queimado com uma quantidade adequada de ar gera uma luz branca.

### 3.2.1 Distribuição de cilindros de acetileno

Os principais acidentes que ocorrem com os cilindros de acetileno são devidos aos maus tratos no transporte e as normas abaixo mencionadas devem ser rigorosamente seguidas:

- Transporte os cilindros de acetileno sempre na posição vertical e amarrados para evitar choques entre eles.
- Movendo cilindros de acetileno, evite choques mecânicos que possam danificá-los, sua válvula, os seus bujões fusíveis, garantindo-os contra quedas e pancadas.
- Caminhões com plataforma elevadora provêm a melhor maneira de carga e descarga segura.
- Todos os cilindros de acetileno, cheios ou vazios, devem ser transportados com o capacete protetor, a fim de evitar avarias nas respectivas válvulas.
- Cilindros de acetileno não devem ser transportados em veículos fechados, porta malas de automóveis ou caminhões enlonados, pois algum eventual vazamento de acetileno, confinado, poderá causar uma explosão.
- Não fumar quando estiver manuseando ou transportando cilindros de acetileno.
- Não descarregue cilindros de acetileno próximo a lugares que contenham materiais inflamáveis, corrosivo ou fonte de calor. Também não descarregue perto de conjuntos de solda elétrica ou onde o mesmo possa tomar parte num circuito elétrico.

### 3.3 EXPLOSÃO

De acordo com Mannan (2012), uma explosão pode ser definida como uma liberação de energia repentina e violenta, onde os principais tipos de energia liberada são a energia física, a química e a nuclear. A explosão de um vaso devido à alta pressão do gás em seu interior é um exemplo de liberação violenta de energia física. Já a explosão de um vaso devido à combustão de um gás inflamável em seu interior representa uma violenta liberação de energia química.

Um vazamento de um gás inflamável e tóxico de uma tubulação (incidente) pode ter como resultado um jato de fogo (jet fire), se a ignição for imediata, uma explosão de nuvem de vapor (vapor cloud explosion) ou um incêndio de nuvem de vapor (vapor cloud fire), se a ignição for adiada, ou ainda uma nuvem tóxica (toxic cloud), se não houver ignição

A explosão de nuvem de vapor pode ser descrita como uma combustão que ocorre em uma nuvem de gás composta por uma mistura de combustível e oxidante pré-misturada, que gera um rápido aumento da pressão (BJERKETVEDT et al., 1997). Segundo Crowl et al. (2008), quando este tipo de explosão ocorre em ambientes não extremamente confinados e congestionados, normalmente a chama se propaga no modo de deflagração (velocidade de queima menor que velocidade do som). Uma explosão de nuvem de vapor nada mais é do que uma explosão de gás num ambiente não confinado ou parcialmente confinado, portanto o termo explosão de gás será utilizado como um sinônimo de explosão de nuvem de vapor ao longo deste trabalho (BJERKETVEDT et al., 1997).

## **4 METODOLOGIA**

### **Hipótese do cenário acidental**

O cenário analisado foi uma hipótese acidental devido ao mal armazenamento de um cilindro de gás acetileno em uma oficina mecânica, o que provocou uma ruptura seguida de uma liberação do gás desencadeando as condições necessárias para formação de nuvem capaz de explodir e formar nível elevado de sobressão. As tipologias analisadas foram a ocorrência de pequenos vazamentos e grandes vazamentos em tubulações. Os critérios adotados para o pequeno e grande vazamento foram os estipulados pelo CETESB P4. 261 (2011), desse modo, o pequeno vazamento e grande vazamento correspondem a 20% e 100% do diâmetro do equipamento, respectivamente, conforme apresentado na Figura 1. Portanto, a integridade mecânica aumenta a confiabilidade das barreiras de proteção dos sistemas, através da redução da probabilidade de vazamentos, logo a frequência de eventos indesejáveis tais como incêndios, explosões e danos ambientais, será também reduzida.

Figura 1: Critérios adotados



Fonte: Autoria própria

Os cenários estudados foram a ocorrência de jet fire, flash fire, explosão e nuvem tóxica em decorrência de fissura (pequeno vazamento) e ruptura (grande vazamento) no cilindro.

### Agente químico

#### DESCRIÇÃO

Cilindro modelo GWAC9  
Fabricante: NORRIS CYLINDERS  
Material: aço SAE 1008  
Gás: acetileno  
Capacidade hidráulica: 53,7 litros  
Pressão de serviço: 17,2bar  
Capacidade de gás: 8,8kg  
Altura: 974.1mm  
Diâmetro: 310.89mm  
Peso: 62kg



#### Simulação

O programa computacional ALOHA, desenvolvido pela Environmental Protection Agency – EPA foi utilizado na etapa de simulação dos alcances provocados pelos os efeitos físicos.

#### Valores de referencia

#### Limites dos efeitos físicos

Os limites adotados foram estabelecidos pela Norma Técnica da CETESB P4. 261 (2003) e pelo TNO Purple Book (2005):



Sobrepessão (utilizando o modelo de Multi-Energia da TNO):

- 1 psi;
- 3,5 psi;
- 8 psi (destruição de estrutura).

Conforme o Quadro 1, Veritas (2006) explica que a sobrepessão gerada como efeito da explosão pode gerar danos terríveis sobre pessoas ou ativos.

Quadro 1 – Indicativos dos níveis de danos que podem ser encontrados a partir de explosões

SOBREPRESSÃO (psi)	POSSÍVEIS EFEITOS
<b>DANOS AS ESTRUTURAS E A EQUIPAMENTOS</b>	
0,3	Distância segura; 95% de probabilidade da não ocorrência de danos sérios
1	Danos a estruturas de aço e painéis. Equivale a menos de 1% de danos estruturais
2	Limite inferior de danos estruturais sérios; Dano parcial em paredes de casas.
7	99% de danos estruturais
<b>DANOS AS PESSOAS</b>	
2,4	1 % de ruptura de tímpano
12,2	90% de ruptura de tímpano
15,5	1% de fatalidade por hemorragia pulmonar
29	99% de fatalidade por hemorragia pulmonar

Fonte: Adaptado de VERITAS (2006).

## 5 RESULTADOS

A utilização do software ALOHA permitiu estimar o alcance dos cenários acidentais, classificando-os como zona amarela (dano baixo), zona laranja (dano médio) e zona vermelha (dano alto). Tal simulação possui a missão de reduzir os impactos gerados em decorrência de uma explosão. Para o cenário de acidente com pequeno vazamento não houve nenhum resultado resultante de liberação de energia por sobrepessão, diferentemente do cenário de ruptura que apresentou dos dados a seguir nas Figuras 2 e 3.

- **Dano severo (Maior que 8,0 psi):** Ao ocorrer tal explosão pode existir a destruição de edifícios ou de partes dos mesmos, como mostrado na Figura 2, o raio máximo que esta explosão pode atingir é até uma distância de 13 metros;

- **Dano mediano (Maior que 3,5 psi):** Para tal dano podem ocorrer lesões graves a quem estiver na área de ameaça. Esta região está localizada entre 13 e 19 metros de raio distância do local da explosão;
- **Dano leve (Maior que 1,0 psi):** Os danos para esta dimensão de explosão é a quebra de vidros, entre outras decorrências extras. A região de concentração desse efeito está entre 19 e 41 metros do raio da ação inicial.

Figura 2: Energia de sobrepressão liberada pela explosão do gás acetileno.

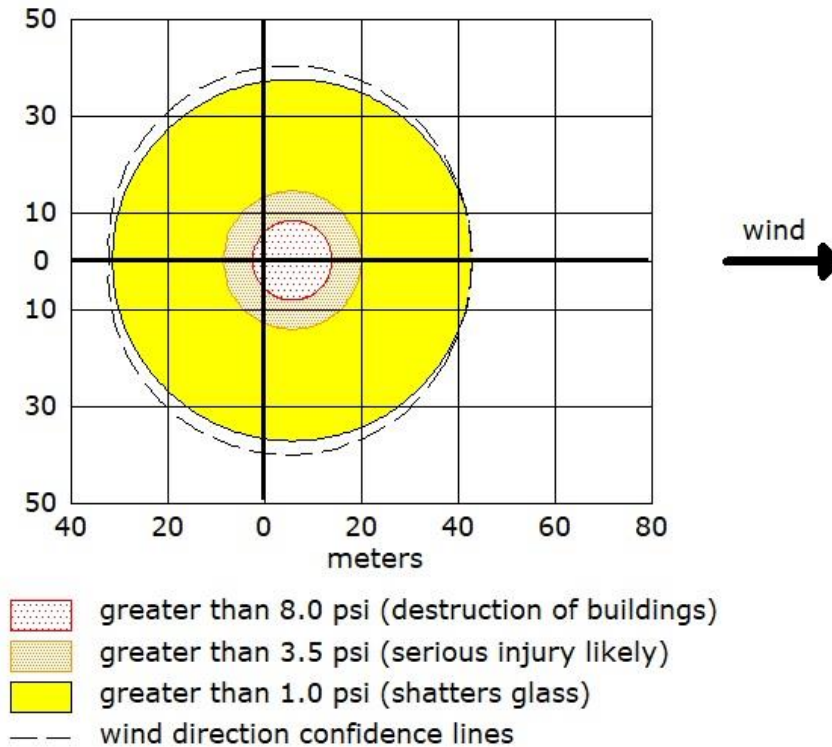


Figura 3: Projeção das energias de sobrepressão liberada pela explosão do gás acetileno no departamento de engenharia mecânica da UFCG.



## 6 CONCLUSÕES

O número de acidentes de trabalho no Brasil coloca o país em quarto lugar na estatística mundial, muitos destes, são acidentes envolvendo gases. O objetivo principal do trabalho foi expor os riscos da ocorrência de pequenos e grandes vazamentos em cilindros contendo o gás acetileno, relacionando a pressão.

A simulação no software ALOHA permitiu dimensionar os impactos gerados em decorrência de uma explosão, classificando assim, os danos causados (leve a severo). São dados importantes, que devem ser relacionados com a Segurança do Trabalho, utilizados na preparação de análise de riscos, entre outros, prevenindo acidentes.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINI, M. H. **Processos de corte industriais**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de Piracicaba, Piracicaba, 2006.

BJERKETVEDT, D.; BAKKE, J.R.; VAN WINGERDEN, K. **Gas explosion handbook**. *Journal of Hazardous Materials*, v. 52, p. 1-150, 1997

BRASIL, Lei 8.213 de 24 de julho de 1991. **Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências**. Disponível em <http://www3.dataprev.gov.br/sislex/paginas/42/1991/8213.htm>. Acesso em 07 out. 2018.

CROWL, D.A.; LOUVAR, J.F. **Chemical process safety: Fundamentals with applications**. Second edition. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 2009, p. 1-30, 225-282.

CROWL, D.A. et al. **Process Safety**. In: GREEN, D.W.; PERRY, R.H. (Ed.). Perry's chemical engineers' handbook. Eighth edition. New York: McGraw-Hill, 2008, p. 1-110.

MANNAN, S. (Ed.). **Lees' loss prevention in the process industries: Hazard identification assessment and control** - Volume 2. Fourth edition. Oxford: Butterworth-Heinemann of Elsevier, 2012. Chapter 17: Explosion, p. 1367- 1678.

MARQUES, M. C. S.; HADDAD, J.; MARTINS, A. R. S. **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações**. Itajubá: Fupai, 2006. 596 p.

PANNONI, F. D.; SILVA, V. P. **Engenharia de Segurança Contra Incêndio**. In: SEITO, A. I. (coord.) et al. **A Segurança Contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 411- 446.

SERPA, R.R. **Acidentes Industriais Aplicados**, 1ª edição, 2002.