



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO  
CENTRO DE INFORMÁTICA  
2016.2

---



**Uma Ferramenta para Análise Não Linear de  
Dutos com Defeitos Causados por Corrosão  
Utilizando o Método dos Elementos Finitos**

---

PROPOSTA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**Aluno:** Marco Antônio Figueirôa da Silva Cabral (mafsc@cin.ufpe.br)  
**Orientador:** Ramiro Brito Willmersdorf (ramiro@willmersdorf.net)

Recife, setembro de 2016.

## Índice

1. Contexto .....	3
2. Objetivos .....	4
3. Metodologia .....	5
4. Cronograma.....	6
5. Referências Bibliográficas .....	7
6. Assinaturas .....	10

## 1. Contexto

A rede dutoviária é considerada estratégica na cadeia logística da indústria de hidrocarbonetos. Apesar de sua pouca flexibilidade, ela é mais competitiva do que outros modais, visto que existe a contínua necessidade de transporte de grandes volumes de fluidos através de dutos capazes de entregar um alto grau de confiabilidade por não se sujeitarem a intempéries ou congestionamentos (FECOMBUSTIVEIS, 2014).

O Brasil possui uma malha de dutos de 27.468km, o que confere uma posição entre os 20 países com as maiores malhas, ranking encabeçado pelos EUA, que possui a maior malha, com mais de 2.000.000 km (CIA, 2013).

Nesse contexto, a corrosão é um problema nas redes de dutos e por suas graves consequências é de importância mundial. A corrosão de dutos provoca paradas de linhas, perda ou contaminação de produto, redução em termos de eficiência, além de possuir uma manutenção cara e caso de não seja reparada põe em risco a segurança do meio onde se encontra o duto, podendo gerar grandes desastres ambientais e econômicos (FERREIRA, 2011), o que enfatiza o fato de que a manutenção dessas vias é de grande importância para as empresas petrolíferas.

Uma das ferramentas mais efetivas para a predição da integridade estrutural de um duto com defeitos submetidos a altas pressões internas é o Método dos Elementos Finitos (MEF). A modelagem e análise por MEF requer engenheiros altamente qualificados, treinados para uso de softwares específicos e com experiência para a análise dos dados gerados.

Ao longo de 7 anos, vários projetos de pesquisa e consultoria no campo de análise por Elementos Finitos (EF) aplicados a dutos com defeitos causados por corrosão foram desenvolvidos pelo grupo PADMEC, Processamento de Alta Desempenho em Mecânica Computacional, que é um grupo de pesquisa da UFPE, apoiado pela PETROBRAS. Um procedimento desenvolvido pelo grupo PADMEC (CABRAL, 2007) foi desenvolvido para controlar análises não lineares usando o programa de Análise de Elementos Finitos ANSYS. Esse procedimento é baseado no comando "Save/Restart" do ANSYS e é baseado no procedimento usado por pesquisadores do CENPES/PETROBRAS para avaliar a segurança de dutos com defeitos causados por corrosão usando MEF. Esse procedimento executa e controla análises não lineares usando critérios especialmente definidos para a avaliação da convergência e para computar o incremento de pressão para cada iteração da análise.

## **2. Objetivos**

Este trabalho tem como principal objetivo a automatização do procedimento de análise não linear desenvolvido pelo grupo PADMEC, de forma a reduzir o trabalho despendido pelos engenheiros para a realização das análises, visto que os engenheiros são os responsáveis por, a cada iteração, calcular de forma manual os novos parâmetros e gerar os arquivos de entrada para a próxima iteração. Dessa forma evita-se uma provável fonte de erros e libera-se os engenheiros para outras atividades mais importantes tais como analisar os resultados.

Ao término do trabalho o programa desenvolvido será submetido à avaliação dos usuários atuais do sistema e incorporado à metodologia de avaliação da segurança de dutos corroídos do CENPES/Petrobras.

### 3. Metodologia

A ferramenta a ser desenvolvida nesse trabalho será baseada em um projeto de iniciação científica, produto do trabalho do grupo de pesquisa PADMEC, o qual foi acompanhado pelo autor através de sua participação ao longo dos últimos 5 anos.

Tal ferramenta será desenvolvida na linguagem de programação Python, que é uma linguagem de programação de altíssimo nível que enfatiza a legibilidade do código, a sintaxe da linguagem é simples e moderna, multiparadigma, interpretada, com tipagem dinâmica e fortemente tipada. Também é altamente modular, multiplataforma, de fácil aprendizagem (PYTHON, 2015). Apesar de ser uma linguagem de propósito geral, usada em várias áreas, python é comumente usada como uma linguagem de script, para automatizar tarefas repetitivas como manipulação de texto, processamento de texto, etc. Ou scripts que conectam diferentes programas (por exemplo, executar o ANSYS a cada passo de carga de uma análise não linear).

Fazendo uso do módulo PyQt para o desenvolvimento da interface gráfica. Relatórios com avaliação dos resultados serão gerados automaticamente com o módulo PyExcelerator a partir dos dados das iterações das análises computacionais realizadas pelo programa ANSYS.

A ferramenta desenvolvida consiste em um conjunto de funções de interface e classes voltadas para análise de dutos corroídos, de acordo com incrementos de carga e critérios de convergência adotados pelo grupo de pesquisa do CENPES/PETROBRAS.

Tendo como meta tornar a configuração e a execução da análise as mais práticas e fáceis quanto possível, o programa será desenvolvido como um “wizard”, de tal forma que a cada janela de interação o programa requisite do usuário um conjunto limitado de dados, que conduz a análise de forma correta, para reduzir o número de erros. Dessa forma o usuário pode rapidamente realizar simulações computacionais com o MEF, neste contexto específico.

O modelo de elementos finitos e as condições de contorno usados na análise não linear são gerados previamente com um outro programa, chamado PIPEFLAW\_M, o qual gera de forma automática os modelos de elementos finitos de dutos corroídos.



## 5. Referências Bibliográficas

FEDERAÇÃO NACIONAL DO COMÉRCIO DE COMBUSTÍVEIS E LUBRIFICANTES – Fecomercio. Transporte dutoviário de combustíveis no Brasil: desafios e oportunidades, 2014.

Disponível em <<http://www.fecombustiveis.org.br/clipping/transporte-dutoviario-de-combustiveis-no-brasil-desafios-e-oportunidades/>>.

Acesso em 12 set. 2016.

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY - CIA. The World Factbook, 2013.

Disponível em <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>>.

Acesso em 12 set. 2016.

FERREIRA, A. D. M. Ferramentas computacionais para análise estrutural de dutos com defeitos reais. 2011. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

ANSYS, Ansys Release 12.0 Documentation: Operations Guide(Chapter 3) and Structural Guide (Chapter 8).

Disponível em <<http://www.ansys.com>>,

Acesso em 12 set. 2016.

MSC.Software, PATRAN. Help system: MSC.Patran Library (PCL Manuals) and MSC.Acumen Library (Develop Manuals), 2008.

Disponível em <<http://www.mscsoftware.com>>.

Acesso em 12 set. 2016.

DINIZ, J.L.C., “Resistência de Dutos com Defeitos Usinados”, Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PUC-Rio, Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 97p., 2002.

BATHE, K.J., Finite Elements Procedures. Editora Prentice-Hall, pp.485-640, 1996.

CRISFIELD, M.N., “Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures”, Editora John Wiley and Sons Ltd, London – England, pp.1-20, 1991.

- BENJAMIN, A.C.; Freire, J.L.F.; Vieira, R.D.; Diniz, J.L.C.; Andrade, E.Q., “Burst Tests on Pipeline Containing Interacting Corrosion Defects”. Proc. 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE2005), 2005.
- PYTHON, “Python Documentation Release 2.7: Tutorial and Library Reference Manual” Disponível em <<https://docs.python.org/2/>>, 2015.  
Acesso em 12 set. 2016.
- CABRAL, H.L.D.; Willmersdorf, R.B.; Costa, F.A.; Lyra, P.R.M.; Afonso, S.M.B; Torres, J.V.S., “Automatização da Geração e Análise por Elementos Finitos de Defeitos de Corrosão em Dutos”. Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM2006-03-536), Recife, Brasil, 2006.
- CABRAL, H.D.L., 2007. Desenvolvimento de Ferramentas Computacionais para Modelagem e Análise Automática de Defeitos de Corrosão em Dutos. *Pós-Graduação em Engenharia Mecânica*, UFPE, Recife, Dissertação de Mestrado, 140f.
- FU, B. & Kirkwood, M.G., “Predicting Failure Pressure of Internally Corroded Linepipe Using the Finite Element Method”, 14th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE’95), Vol. 5, Pipeline Technology, pp. 175-184, 1995.
- CHOUCHAOU, B.A.; Pick, R.J.; Yost, D.B., “Burst Pressure Predictions of Line Pipe Containing Single Corrosion Pits using the Finite Element Method”, 11th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE 92), Vol. 5, Part A - Pipeline Technology, pp. 203-210, 1992.
- BATTE, A.D.; FU, B.; KIRKWOOD, M.G.; VU, D., “Advanced Methods for Integrity Assessment of Corroded Pipelines”, *Pipes & Pipelines International*, pp. 5-11, January- February, 1997.
- ANDRADE, E.Q.; Benjamin, A.C.; Machado Jr., P.R.S.; Pereira, L.C.; Jacob, B.P.; Carneiro, E.G.; Guerreiro, J.N.C.; Silva, R.C.C.; Noronha Jr., D.B.,” Finite Element Modeling of the Behavior of Pipelines Containing Interacting Corrosion Defects”. 25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE2006-92600), Hamburg, Germany, 2006.



Benjamin, A.C. & Andrade, E.Q., Projeto 601295 “Avaliação de Dutos Corroídos com Defeitos Curtos” Especificação 13 (Revisão 2): Procedimento para Definição da Estratégia de Aplicação do Carregamento em Análises de Ruptura de Espécimes Tubulares com Defeitos Curtos de Corrosão usando Elementos Finitos, 2005.

PyExcelerator,

Disponível em <<https://pypi.python.org/pypi/pyExcelerator/>>,

Acesso em 12 set. 2016.

Riverbank, PYQT4 classreference,

Disponível em <<https://riverbankcomputing.com/software/pyqt/intro>>,

Acesso em 12 set. 2016.

Riverbank, PyQt Whitepaper, 2013.

Matplotlib, Matplotlib docs,

Disponível em <<http://matplotlib.org/contents.html> >,

Acesso em 12 set. 2016.

## 6. Assinaturas

---

Marco Antônio Figueirôa da Silva Cabral  
**Aluno**

---

Ramiro Brito Willmersdorf  
**Orientador**