

10º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

ESTUDO DE DESEMPENHO DE ALGORITMOS PARA QUANTIFICAÇÃO DE DESGASTE EM REVESTIMENTOS DE POÇOS DE PETRÓLEO

AUTORES:

Antonio Paulo Amancio Ferro¹, Diego Vasconcelos Gonçalves Ferreira¹, Lucas Pereira de Gouveia¹, Aline da Silva Ramos Barbosa¹, Joseir Gandra Percy²

INSTITUIÇÃO:

Laboratório de Computação Científica e Visualização, Universidade Federal de Alagoas¹
Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobrás²

ESTUDO DE DESEMPENHO DE ALGORITMOS PARA QUANTIFICAÇÃO DE DESGASTE EM REVESTIMENTOS DE POÇOS DE PETRÓLEO

Abstract

Neste trabalho é apresentado um estudo de desempenho de algoritmos de quantificação de desgaste nos revestimentos de poços de petróleo, aplicados com diferentes técnicas e ferramentas numéricas. Durante a operação de perfuração de um poço de petróleo o desgaste mecânico causado pelo contato entre a coluna de perfuração e a parede interna do revestimento é um problema que impacta diretamente na integridade estrutural dos tubos. No esforço para evitar a falha em serviço da estrutura, ao mesmo tempo em que se busca tornar o dimensionamento dos tubos mais econômico, surge a necessidade de quantificar a perda de material em poços executados de forma mais precisa, evitando a utilização de coeficientes de segurança elevados no dimensionamento dos tubos. O estudo e desenvolvimento de ferramentas numéricas para a quantificação de desgaste tem se tornado cada vez mais necessário para encontrar resultados satisfatórios e que permitam uma análise aprofundada do fenômeno. O algoritmo desenvolvido busca encontrar a forma original do revestimento antes do desgaste, quando não há essa informação, considerando as imperfeições fabris do tubo assentado e comparar com as informações do tubo perfilado, buscando identificar as áreas de perda de espessura e sua quantificação. Para tanto, o método de Newton é usado para resolver o problema de ajuste, usando o método de mínimos quadrados, dos coeficientes de uma elipse distorcida e deslocada, aproximada como a forma original de uma seção transversal do tubular. Os gargalos computacionais são observados na resolução do ajuste para os parâmetros da elipse, que pode ter de 6 a 10 parâmetros, em uma nuvem de 90 pontos de uma seção transversal de uma coluna de revestimento, onde o processo se repete ao longo da extensão do tubo, alcançando milhares de dados de perfilagem. Em poços profundos, para quantificar o desgaste em várias seções medidas, o algoritmo pode levar horas para ser resolvido. A metodologia desenvolvida aplica um estudo comparativo para a melhoria do algoritmo com objetivo de reduzir o tempo de processamento da ferramenta na análise de um poço profundo completo. No trabalho, aplicações desenvolvidas em Python e em C++ são comparadas visando melhoria de tempo computacional. Diminuição da ordem de 100 vezes no tempo de execução é alcançada.

Introdução

As condições complexas a serem vencidas durante as operações de perfuração sob grande profundidade em poços offshore, tem direcionado a indústria a desenvolver e aprimorar métodos de quantificação de desgaste para avaliar a integridade estrutural do revestimento. Como exposto por Kumar (2015), nas últimas décadas a demanda para o desenvolvimento de poços mais complexos aumentou, o que constitui uma maior preocupação em relação ao programa de controle do revestimento. Um dos motivos para uma maior preocupação, decorre

da gravidade do fenômeno do desgaste que é acentuado com os ganhos de ângulos conhecidos como dogleg ao longo de uma trajetória mais complexa. O desgaste mecânico no revestimento é causado pelo contato da coluna de perfuração com a parede interna, que em situações extremas, a remoção de material é responsável por uma redução crítica da resistência da estrutura resultando no colapso do poço.

Segundo Bourgoyne (1991) a parcela de custo do revestimento é alta, e com isso é necessário dimensionar a estrutura de maneira otimizada a fim de que seja possível suportar as condições de serviço e operar com segurança durante a vida útil do poço. Dessa forma, é necessário avaliar com maior precisão a taxa de desgaste para que, como exposto por Mitchell (2012), seja possível acessar a máxima taxa permissível de desgaste para manter a integridade da estrutura, a fim de que se elimine a necessidade de adotar fatores de segurança excessivos que impactam no custo do projeto como um todo.

É de prática corriqueira da indústria a utilização de equipamentos de perfilagem para capturar as variações dimensionais do revestimento na tentativa de quantificar a perda de material e identificar as regiões críticas. Equipamentos de perfilagem ultrassônica são capazes de aferir medidas de raio interno e de espessura do revestimento. Esses equipamentos possuem uma taxa de amostragem radial ajustável entre 4 e 10 graus constituindo uma nuvem de 90 a 36 pontos em uma seção transversal e, como exposto por Seitinger (2010), a amostragem vertical depende do fabricante do equipamento sendo geralmente entre 0,6 e 6 polegadas.

Dentro desse contexto, os dados obtidos da perfilagem são utilizados para encontrar a taxa de desgaste através da comparação com as medidas antes do desgaste. As medidas nominais devem ser evitadas pois não condizem inteiramente com as condições da seção, uma vez que, dessa forma a ovalização e excentricidade são desvios fabris que não são levados em conta. Como exposto por Chandrasekhar et al. (2019), a utilização de dados de perfilagem antes do desgaste nem sempre é possível e mesmo quando é disponível não há garantia que os pontos são os mesmos.

Dessa forma, o desenvolvimento de algoritmos para encontrar soluções para quantificar o desgaste de forma precisa são necessários. O que demanda métodos numéricos aplicados na geração de superfícies teóricas aproximadas que se assemelhem ao revestimento antes do desgaste. Em Chandrasekhar et al. (2019) é apresentada técnica de geração de uma geometria elíptica teórica utilizando entre 6 e 10 parâmetros e que é implementada utilizando o método dos mínimos quadrados através da solução de sistemas utilizando o método de Newton.

Este trabalho tem como objetivo realizar estudo de desempenho de algoritmos de quantificação de desgaste implementados em Python e C++ utilizando metodologia apresentada em Chandrasekhar et al. (2019) para aproximação de uma superfície teórica elíptica distorcida e transladada para mostrar a viabilidade de implementação dessa ferramenta de quantificação do

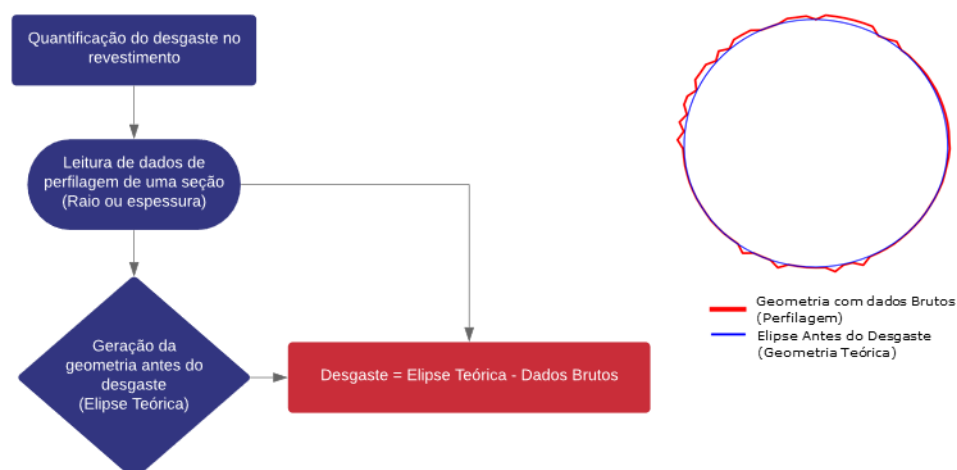
desgaste como ferramenta de análise de poços perfilados. Faz-se, neste trabalho, uma análise dos gargalos computacionais e comparação dos tempos de execução do código. O estudo é necessário pois o método utilizado pode levar até 35,4 minutos para resolver somente uma fase de 890m

Metodologia

A proposta é apresentar resultados comparativos entre tempos de execução de algoritmos que utilizam a estratégia de geração de geometria teórica para quantificação da taxa de desgaste. Os dados de perfilagem de poço executado são utilizados para alimentar algoritmos implementados em Python e também utilizando código em C++. A estratégia de ajuste utilizada é explorada e validada em Chandrasekhar et al. (2019). Os algoritmos utilizados foram implementados sem auxílio de bibliotecas externas de computação de alto desempenho.

O fluxograma simplificado na Figura 1 ilustra o procedimento para o cálculo da taxa de desgaste através dos dados de perfilagem. Os dados de perfilagem, que são os dados do tubo desgastado, são utilizados para gerar a elipse teórica que por diferença entre os dados brutos completos fornece a taxa de desgaste. A elipse teórica consiste em uma geometria estimada do tubo antes do desgaste, onde uma metodologia numérica de ajuste de curva que exclui pontos de desgaste é aplicada. O processo custoso de resolver o ajuste dos parâmetros de uma elipse distorcida com 6 ou 10 parâmetros geométricos pode representar um problema maior com a necessidade de encontrar o perfil de desgaste para todo um poço profundo com centenas ou milhares de metros. O perfil de desgaste consiste na determinação dos maiores desgaste encontrados em cada seção para todo o intervalo de profundidade medido. Ressalta-se que a utilização de uma geometria com maiores quantidades de parâmetros implica em maior custo computacional.

Figura 1 – Fluxograma simplificado do cálculo da taxa de desgaste.



Fonte: AUTOR (2019).

Os métodos numéricos utilizados para a resolução do problema consistem na utilização do ajuste por mínimos quadrados, em que se demanda a minimização

de função erro para que seja possível aproximar os parâmetros da geometria elíptica distorcida. Para resolver esse problema, o método de Newton multivariável é aplicável, onde a resposta direta dos parâmetros que minimizam a função erro é encontrada.

Neste trabalho é utilizado um poço com dados descaracterizados possuindo ainda o padrão dos dados reais originais obtidos com equipamento ultrassônico. Os dados são de espessura e com amostragem radial de 90 pontos. O intervalo de profundidade medido pelo instrumento é de 1510 m até 1800 m e com amostragem vertical de 6 polegadas o que resulta em 1906 seções a terem desgaste quantificado.

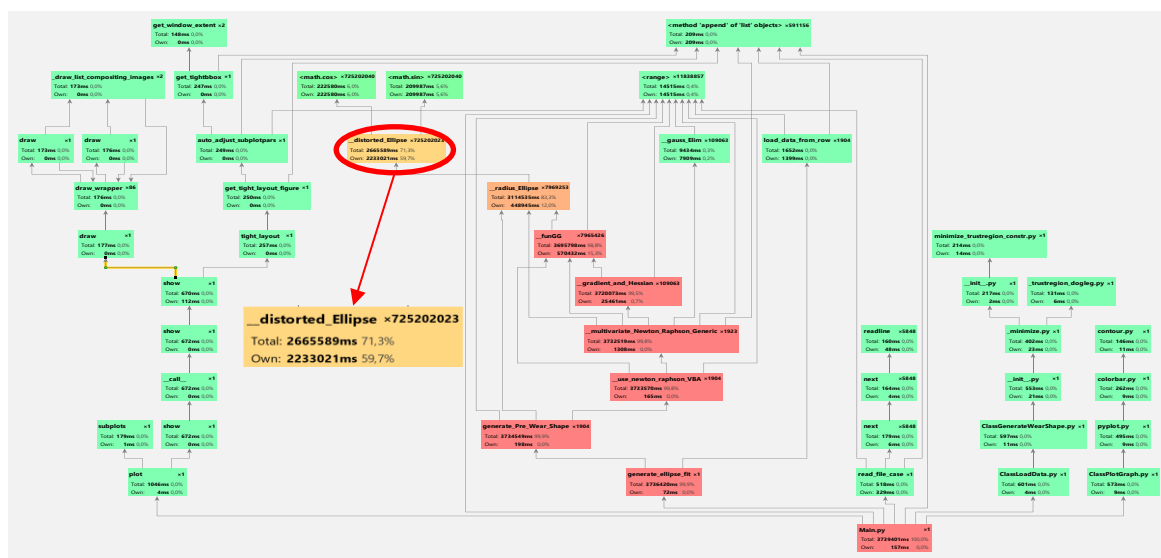
O estudo do desempenho foi executado com a utilização de diferentes ferramentas para análise de algoritmos presentes na *Ide Pycharm professional*, e no programa *Microsoft Excel*.

Resultados e Discussão

Inicialmente utilizou-se a linguagem interpretada Python na implementação do problema para gerar o perfil de desgaste para toda a profundidade utilizando os dados de perfilagem de poço. Uma análise de desempenho do código é feita em seguida para testar a viabilidade do algoritmo para aplicação como ferramenta de quantificação de desgaste.

Através da ferramenta *profile* disponível na *Ide Pycharm professional*, ferramenta que serve de auxílio ao desenvolvimento de códigos para otimização dos algoritmos, é possível determinar os gargalos do código. É possível identificar através de um fluxograma os caminhos do código e o custo computacional de cada etapa por porcentagem. Na Figura 2, é apresentado o resultado da análise utilizando essa ferramenta.

Figura 2 – Indicação de gargalos no algoritmo de quantificação de desgaste



Fonte: Autor (2019).

Como é detalhado na Figura 2 as etapas destacadas em vermelho são as que apresentam maior impacto durante a execução do algoritmo, sendo todas as etapas de execução do método de Newton multivariável (responsável por cerca de 98,9% do tempo de execução). Este método computacional consiste no cálculo da hessiana, gradiente e na solução de sistemas lineares em cada uma das milhares de iterações, o que representa a parte mais custosa de todos os cálculos envolvidos no processo de quantificação de desgaste do código. Na imagem, é destacada ainda a etapa do algoritmo que sozinha representa 59,7% do tempo de execução do código e que é necessária para a o cálculo das coordenadas da geometria teórica.

Na tentativa de melhorar a performance do algoritmo utiliza-se, em seguida, uma versão em linguagem C++ para executar as etapas de ajuste através do método de Newton. Como mencionado por Chandrasekhar et al. (2019), o algoritmo implementado com linguagem Visual Basic (VBA) possui tempo de execução de 12 minutos para quantificar desgaste e gerar o perfil de desgaste de um poço com 20715 seções. Dessa forma, utilizando os dados do poço perfilado deste trabalho, a Tabela 1 apresenta tempo de execução de dois algoritmos para quantificação do desgaste, em Python e em C++. Os valores encontrados foram gerados em Notebook com processador Core i7 – 7500U de 2.7GHz com Turbo Boost de até 3,5GHz e 8GB DDR4.

Tabela 1 – Tempo de execução para geração do perfil de desgaste do poço

Algoritmo em Python	Algoritmo em C++
1338,8s	13,4s

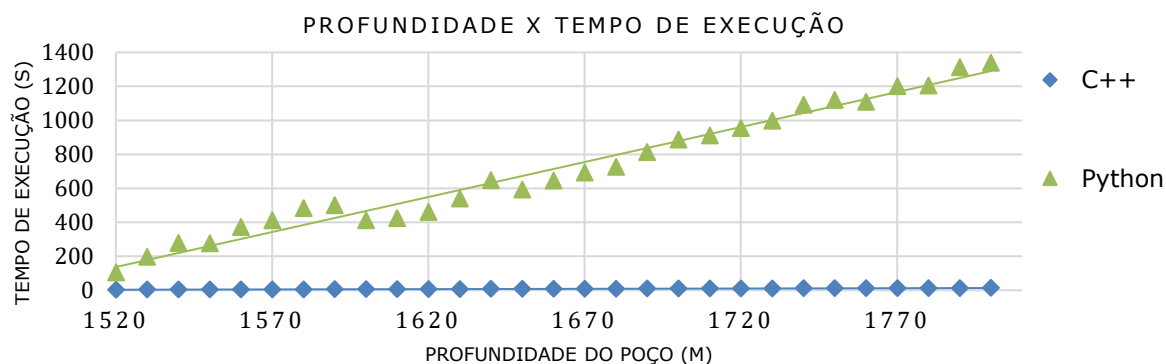
Fonte: Autor (2019).

Como é possível perceber, os resultados apresentados mostram que o algoritmo implementado em linguagem Python se mostra mais lento que os implementados nas demais linguagens, tanto o C++ como o próprio VBA utilizado por Chandrasekhar et al. (2019) sendo necessário 1338,8s (pouco mais de 22 minutos) para quantificar o desgaste em apenas 1906 utilizadas neste trabalho. O algoritmo em C++ apresenta-se mais eficiente no cálculo das taxas de desgaste ao longo de toda a profundidade diminuindo em quase 100 vezes o tempo de execução.

No poço utilizado neste trabalho tem-se dados de investigação em 290 m de profundidade medida. Nota-se que os reservatórios explorados se encontram, atualmente, cada vez em maiores profundidades. Dessa forma, o tempo para execução em Python poderia resultar em horas de análise na ocasião de obter as taxas de desgaste para todo o poço.

A Figura 3 apresenta a comparação de desempenho, em que é apresentado os tempos de execução necessário para análise do perfil de desgaste a cada 10m. Nota-se mais detalhadamente, a grande diferença entre o Python e o C++.

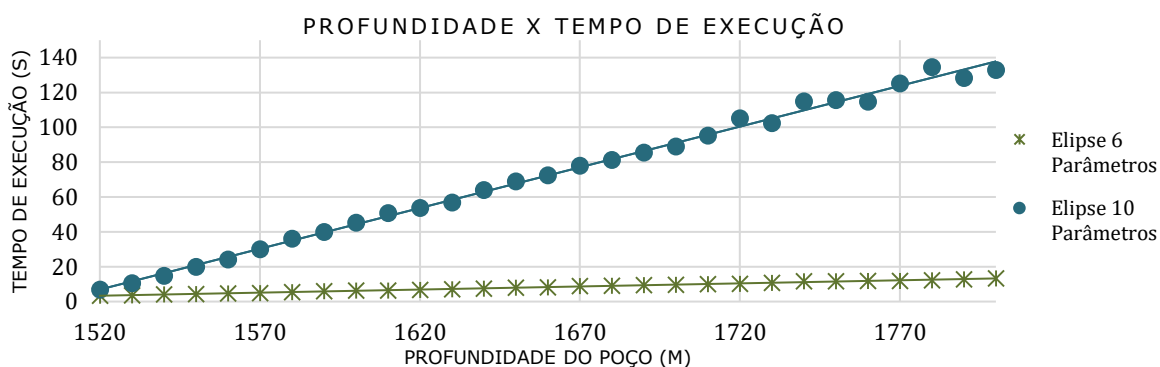
Figura 3 – Comparação de desempenho dos algoritmos



Fonte: Autor (2019).

A comparação do tempo de execução das duas metodologias de ajuste, ou seja, geometria teórica com 06 parâmetros ou com 10 parâmetros é apresentada abaixo na Figura 4. Neste caso utilizando apenas a linguagem C++. Percebe-se que, como esperado, a metodologia de ajuste usando 10 parâmetros apresenta custo computacional maior, levando cerca de 10 vezes mais tempo para gerar resultados do perfil para toda profundidade como nota-se na Tabela 2.

Figura 4 – Comparação de desempenho das metodologias de elipse em C++



Fonte: Autor (2019).

Tabela 2 – Tempo de execução total em C++ para diferentes metodologias

Metodologia c/ 6 Parâmetros	Metodologia c/ 10 Parâmetros
13,4s	132,9s

Fonte: Autor (2019).

O ajuste envolve encontrar os parâmetros geométricos teóricos de cada metodologia que melhor se adequa aos dados de perfilagem. Nesse sentido, o aumento no número de parâmetros que distingue as duas metodologias é a tentativa de melhorar o ajuste a cada tipo de dados de perfilagem. Dessa forma, as duas metodologias podem ser aplicáveis a depender dos propósitos da análise e dos dados disponíveis. A geometria com maior quantidade de parâmetros, no entanto, representa maior custo computacional devido a ordem do problema

aumentar, visto que as soluções envolvem sistemas de ordem 10×10 . O que significa que a geração de um perfil de desgaste utilizando geometria teórica para o ajuste com mais parâmetros pode tornar ainda mais crítico o tempo de execução do algoritmo, sendo particularmente crítico no algoritmo em linguagem Python.

Conclusões

A metodologia de quantificação de desgaste em revestimentos foi implementada em dois algoritmos usando as linguagens Python e C++ onde notou-se que o processo de quantificação de desgaste utilizando ajuste de geometria teóricas elípticas, que tentam assemelhar a condição original do tubo antes do desgaste, necessitam de estudo de desempenho, uma vez que o cálculo do ajuste em cada seção obtida da perfilagem pode resultar em tempo de execução demorado e, portanto, atrapalhar a aplicação como ferramenta prática. Como exposto, na pior situação de análise: utilizando metodologia de 10 parâmetros em poço com milhares de seções a serem analisadas a única das linguagens que se apresenta viável é o C++. Em tentativas de otimizar o tempo de execução do algoritmo, fica claro que o gargalo computacional se encontra no processo de execução do método de Newton e com isso é necessário uma linguagem como o C++ que se mostra mais apropriada para a execução das etapas mais custosas do código.

Agradecimentos

Agradecimentos à Petrobrás pelo suporte técnico e financeiro e ao Laboratório de Computação Científica e Visualização pelo suporte e disponibilização de infraestrutura.

Referências Bibliográficas

BOURGOYNE, A. T.; MILLHEIM, K. K. CHENEVERT, M. E.; YOUNG, F. S. **Applied drilling engineering**. Richardson: Society of Petroleum, 1991.

CHANDRASEKHAR, S. V.; ANJOS, J. L.; FRAZÃO, L. E.; BONELLI, R. C.; PERCY, J. G., SANTOS, C. M.; GASPARETO, D.; LIMA, L. B. **Casing Wear Estimation Without a Baseline Log – A Distorted Ellipse Methodology**. Offshore Technology Conference held in Houston, Texas, USA. OTC-29390-MS. 2019.

KUMAR, A. and SAMUEL, R. **Casing Wear Factors: How do They Improve Well Integrity Analyses?** SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers. 2015.

MITCHELL, S. **Improving Casing Wear Prediction and Mitigation Using a Statistically Based Model**. SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers. 2012.

SEITINGER, P. M. **Casing Wear Analysis : An analysis of the parameters causing casing wear in Troll field and possible solutions**. Mining University of Leoben. Austria. 2010.