

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS – UFGD
FACULDADE DE ENGENHARIA – FAEN
ENGENHARIA MECÂNICA

RENAN GOMES DINIZ

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA GESTÃO DE
BANCO DE ÓLEO HÍDRAULICO PARA ANÁLISE PREDITIVA

Dourados – MS

2023

RENAN GOMES DINIZ

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA GESTÃO DE
BANCO DE ÓLEO HÍDRAULICO PARA ANÁLISE PREDITIVA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Banca Examinadora da
Universidade Federal da Grande
Dourados, como pré-requisito para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica sob a orientação do
Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos.

Área de concentração: 3.05.00.00-1
Engenharia Mecânica



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO D - AVALIAÇÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno: **RENAN GOMES DINIZ**

Título do trabalho e subtítulo (se houver): **DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA GESTÃO DE BANCO DE ÓLEO HIDRÁULICO PARA ANÁLISE PREDITIVA**

BANCA EXAMINADORA

1. Presidente (orientador):

Prof. Dr. RODRIGO BORGES SANTOS, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

2. Membro:

Prof. Dr. RAFAEL FERREIRA GREGOLIN, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

3. Membro:

Prof. Dr. EDILSON NUNES POLLNOW, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD

De acordo com o grau final obtido pelo aluno, nós da banca examinadora, declaramos **APROVADO** o aluno acima identificado, na componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-II) de Graduação no Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados.

Dourados, 28 de abril de 2023.

Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos

Prof. Dr. Rafael Ferreira Gregolin



Documento assinado digitalmente

EDILSON NUNES POLLNOW

Data: 04/05/2023 09:26:27-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Edilson Nunes Pollnow

RESUMO

Com o surgimento e expansão dos computadores, a manutenção se tornou ainda mais sofisticada. A tecnologia passou a fazer parte do dia a dia de planejamento, controle e análise da manutenção. A análise preditiva é o processo de usar dados para prever resultados futuros. O processo usa análise de dados, machine learning, inteligência artificial e modelos estatísticos para encontrar padrões que possam prever comportamentos futuros. O objetivo deste trabalho é desenvolver um aplicativo utilizando a plataforma Power Apps e Power BI para gestão de um banco de óleo hidráulico e, desse modo, facilitar a manutenção preventiva e preditiva de uma oficina de manutenção agrícola, visando a redução de custos, tempos de parada de máquinas, desperdícios e qualidade na reposição de óleo hidráulico nas frotas. Além do controle de movimentações e logística de manutenções das frotas pelo aplicativo, são feitas análises estatísticas de Weibull em linguagem de programação Python para gestão centrada em engenharia de confiabilidade. Na aplicação deste aplicativo é previsto uma redução do consumo de óleo hidráulico contribuindo com o meio ambiente e o orçamento da companhia, reduzindo cerca de 80% o valor gasto em trocas de óleo hidráulico. Além disso, contribui para a redução do consumo de componentes hidráulicos e, também, para a redução de quebras de sistemas hidráulicos proporcionados por contaminação do óleo hidráulico.

Palavras-chave: Manutenção. Análise Preditiva. Óleo Hidráulico

ABSTRACT

With the emergence and expansion of computers, maintenance has become even more sophisticated. Technology has become part of the daily planning, control and analysis of maintenance. Predictive analytics is the process of using data to predict future outcomes. The process uses data analysis, machine learning, artificial intelligence and statistical models to find patterns that can predict future behavior. The objective of this work is to develop an application using the Power Apps and Power BI platform to manage a hydraulic oil bank and, in this way, facilitate the preventive and predictive maintenance of an agricultural maintenance workshop, aiming at reducing costs, machine downtime, waste and quality in production. hydraulic hydration in fleets. In addition to the control of movement and maintenance logistics in fleets through the application, Weibull statistical analyzes are performed in Python programming languages for management focused on reliability engineering. When applying this application, a reduction in hydraulic oil consumption is foreseen, confident with the environment and the company's budget, approaching 80% of the amount spent on hydraulic oil changes. In addition, it contributes to reducing the consumption of components hydraulic systems and, also, for the reduction of breaks in hydraulic systems caused by contamination of deficient hydraulic oil.

Palavras-chave: Maintenance, Predictive, Hydraulic Oil.

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA GESTÃO DE BANCO DE ÓLEO HIDRÁULICO PARA ANÁLISE PREDITIVA

Renan Gomes Diniz, renan.g.diniz@gmail.com , Rodrigo Borges Santos, rodrigobsantos@ufgd.edu.br

Universidade Federal da Grande Dourados, Rod. Dourados-Itahum, Km 12 - Cidade Universitaria, Dourados - MS

Resumo. Com o surgimento e expansão dos computadores, a manutenção se tornou ainda mais sofisticada. A tecnologia passou a fazer parte do dia a dia de planejamento, controle e análise da manutenção. A análise preditiva é o processo de usar dados para prever resultados futuros. O processo usa análise de dados, machine learning, inteligência artificial e modelos estatísticos para encontrar padrões que possam prever comportamentos futuros. O objetivo deste trabalho é desenvolver um aplicativo utilizando a plataforma Power Apps e Power BI para gestão de um banco de óleo hidráulico e, desse modo, facilitar a manutenção preventiva e preditiva de uma oficina de manutenção agrícola, visando a redução de custos, tempos de parada de máquinas, desperdícios e qualidade na reposição de óleo hidráulico nas frotas. Além do controle de movimentações e logística de manutenções das frotas pelo aplicativo, são feitas análises estatísticas de Weibull em linguagem de programação Python para gestão centrada em engenharia de confiabilidade. Na aplicação deste aplicativo é previsto uma redução do consumo de óleo hidráulico contribuindo com o meio ambiente e o orçamento da companhia, reduzindo cerca de 80% o valor gasto em trocas de óleo hidráulico. Além disso, contribui para a redução do consumo de componentes hidráulicos e, também, para a redução de quebras de sistemas hidráulicos proporcionados por contaminação do óleo hidráulico.

Palavras chave: Manutenção. Análise Preditiva. Óleo Hidráulico.

Abstract. With the emergence and expansion of computers, maintenance has become even more sophisticated. Technology has become part of the daily planning, control and analysis of maintenance. Predictive analytics is the process of using data to predict future outcomes. The process uses data analysis, machine learning, artificial intelligence and statistical models to find patterns that can predict future behavior. The objective of this work is to develop an application using the Power Apps and Power BI platform to manage a hydraulic oil bank and, in this way, facilitate the preventive and predictive maintenance of an agricultural maintenance workshop, aiming at reducing costs, machine downtime, waste and quality in production. hydraulic hydration in fleets. In addition to the control of movement and maintenance logistics in fleets through the application, Weibull statistical analyzes are performed in Python programming languages for management focused on reliability engineering. When applying this application, a reduction in hydraulic oil consumption is foreseen, confident with the environment and the company's budget, approaching 80% of the amount spent on hydraulic oil changes. In addition, it contributes to reducing the consumption of components hydraulic systems and, also, for the reduction of breaks in hydraulic systems caused by contamination of deficient hydraulic oil.

Keywords: Maintenance, Predictive, Hydraulic Oil.

1. INTRODUÇÃO

A manutenção, em geral, pode ser definida como os esforços feitos para manter a condição e o desempenho de uma máquina sempre como se tivesse acabado de ser fabricada. As empresas sabem como sua produtividade depende em parte de seus processos de manutenção industrial (Drapinski, 1978).

De fato, quatro tipos de manutenção são recorrentes no setor: preditiva, preventiva, planejada e corretiva. Esses conceitos nem sempre são fáceis de entender ou não são bem conhecidos por certas pessoas, e é por isso que precisam ser esclarecidos. Cada empresa tem necessidades muito peculiares e, portanto, precisa implementar um tipo específico de manutenção.

A análise preditiva é o processo de usar dados para prever resultados futuros. O processo usa análise de dados, machine learning, inteligência artificial e modelos estatísticos para encontrar padrões que possam prever comportamentos futuros. As organizações podem usar dados históricos e atuais para prever tendências e comportamentos com segundos, dias ou anos de antecedência, com muita precisão (Sacristan, 1992).

Com o surgimento e expansão dos computadores, a manutenção se tornou ainda mais sofisticada. A tecnologia passou a fazer parte do dia a dia de planejamento, controle e análise da manutenção.

A manutenção preventiva também evoluiu. Por isso, as intervenções na máquina começaram a ser realizadas apenas quando havia necessidade.

Essa nova técnica possibilitou avanços ainda mais significativos na evolução da manutenção. Não apenas no ambiente

da manutenção, como na fábrica como um todo. Desde então, inúmeras formas de gerir e atuar na manutenção foram desenhadas. A manutenção deixou de ser vista de forma emergencial e muitas vezes amadora, para se tornar uma área estratégica e tecnológica (Mirshawka, 1991).

Por meio do uso da análise de dados de vida útil, os engenheiros de confiabilidade usam dados de vida útil do produto para determinar a probabilidade e a capacidade de peças, componentes e sistemas de desempenhar suas funções necessárias por períodos desejados sem falhas, em ambientes especificados (Faria, 1994).

Dentro da ciência de dados são utilizados modelos de previsão para identificar correlações entre diferentes elementos nos conjuntos de dados selecionados. Quando a coleta de dados é concluída, um modelo estatístico é formulado, treinado e modificado para gerar previsões precisas.

Na Figura 1 é exemplificado o fluxograma da evolução da manutenção desde os primórdios, século XIX, até a aplicação da engenharia de manutenção dos dias atuais.

Figura 1. Evolução da manutenção



Fonte: Autoria própria

A análise de óleo é uma técnica de manutenção preditiva que dia a dia vem ganhando importância para melhorar custos e desempenho de máquinas, equipamentos e frotas. Com o passar do tempo, os mais diversos equipamentos utilizados se tornaram mais modernos, com componentes cada vez menores e mais leves. O aperfeiçoamento dessas máquinas as tornou mais precisas e produtivas em seu trabalho, graças à alta precisão geométrica de seus componentes (Mobil, 1979).

Por outro lado, esse desenvolvimento fez com que também as máquinas ficassem mais passíveis de ser afetadas por contaminantes sólidos em suspensão nos fluidos. Dessa forma, o monitoramento e o controle desses elementos contaminantes se colocam como fundamentais para garantir o bom funcionamento das máquinas, bem como em prol de sua longevidade e produtividade (Parker, 2019).

A Figura 2 representa a economia circular de ganhos referente à engenharia de confiabilidade, reduzindo falhas e minimizando perdas dentro do cenário automotivo agroindustrial.

Figura 2. Economia circular



Fonte: Autoria própria

Dentro do cenário da área automotiva agrícola de uma grande empresa do setor sucroalcooleiro, os maiores gastos orçamentários são óleo hidráulico e pneus. Dentro de uma colhedora de cana coexistem 700 litros de óleo hidráulico para suprir suas demandas hidráulicas, que representam 80% da manutenção. O custo do óleo hidráulico por litro atualmente é de cerca de 30 reais.

As máquinas agrícolas passam por manutenção e precisam esvaziar o óleo hidráulico presente dentro dos componentes. Deste modo, é criado um banco de óleo hidráulico, seguindo todas as normas de armazenamento e preservação das características físico-químicas. O óleo é armazenado em tonéis de 100 litros de acordo com suas especificações. O óleo hidráulico é submetido à análise de todos os seus componentes como viscosidade, aditivção, basicidade, acidez e purificação para retirada de água e particulados. Sendo assim, o óleo só será descartado se suas propriedades físico-químicas estiverem divergindo dos ideais previsto pelo fabricante.

A Figura 3 mostra todo o procedimento adotado nesse trabalho em relação às atividades realizadas na gestão de óleo de hidráulico para análise preditiva, desde o início do armazenamento do óleo até a etapa de análise de confiabilidade, e finalmente, garantindo disponibilidade mecânica dos equipamentos hidráulicos das máquinas e redução do consumo de óleo hidráulico e custos.

Figura 3. Fluxograma das atividades para a gestão de óleo de hidráulico



Fonte: Autoria própria

1.1 Objetivos

Dentro do contexto apresentado acima, o objetivo deste trabalho é desenvolver um aplicativo para fazer gestão de um banco de óleo hidráulico para organizar a logística de retirada de óleo hidráulico das máquinas agrícolas que estão em manutenção, facilitando dessa forma toda a manutenção preditiva e preventiva da automotiva agrícola de uma grande empresa do setor sucroalcooleiro. Visando a redução de custos, tempos de parada de máquinas, desperdícios e qualidade na reposição de óleo hidráulico da frota.

2. METODOLOGIA E CONCEITOS BÁSICOS

O desenvolvimento do aplicativo será realizado utilizando a plataforma *Power Apps*, a ferramenta *Power BI* e um banco de dados em Excel, disponibilizados pela empresa, todos conectados a um modelo de computação em nuvem

OneDrive para interligação das atividades. A análise estatística de Weibull é utilizada para análise de confiabilidade dos ativos, garantindo gerenciamento do banco de óleo hidráulico, mapeamento de anomalias e prevenção e foi implementada utilizando a linguagem de programação Python.

Além disso, esse trabalho foi desenvolvido com base na documentação da revista *Science* (Mikolaj, 1972), nessa documentação foi citado exemplos de utilizações da distribuição de Weibull para gestão da confiabilidade de diferentes áreas profissionais. Desse modo, será aplicado a metodologia para o cenário agrícola.

Especialistas estimam que aproximadamente 80% das falhas em equipamentos sejam causadas por contaminação de fluidos. Partículas com tamanho superior a 5 µm (microns) já podem gerar ocorrências indesejadas. 1 micrômetro é o mesmo que dividir 1 milímetro por 1000.

A contaminação de óleos é um problema sério observado em partes metálicas que entram em contato com partículas, o que gera desgaste e conseqüentemente o surgimento de outras partículas e elementos contaminantes nos óleos, resultando em prejuízos ao sistema.

Nesses casos, são comumente observados quebra e desgaste de componentes como cilindros, bombas e válvulas, descontinuidade nas operações das máquinas, vazamentos internos, envelhecimento acelerado dos próprios óleos lubrificantes. Tudo isso contribui para o aumento dos custos operacionais por conta de paradas de manutenção corretiva.

A limpeza dos óleos é fundamental para o bom funcionamento dos equipamentos nas indústrias e nas demais atividades produtivas.

A manutenção e o controle dos contaminantes das máquinas têm por objetivo assegurar o desempenho operacional desses equipamentos, fazendo com que cheguem ao seu período de vida útil previsto por seus fabricantes. Nesse contexto, ganha essencial importância o papel da filtração de óleos. Trata-se de um processo capaz de eliminar o máximo de impurezas possível.

Se os níveis de contaminação por sólidos forem constantemente controlados e mantidos em limites seguros, é possível alcançar patamares de confiabilidade, disponibilidade de máquinas e sistemas operacionais, além de garantia de sua maior vida útil operacional.

2.1 Filtração do óleo

Também conhecida como filtração, é o processo de fazer passar, através de um meio poroso permeável, um fluido com a finalidade de reter partículas indesejadas que nele estejam em suspensão. Cabe destacar que a capacidade de filtração de um material depende de 3 atributos:

- Pressão do fluido sobre a área do material filtrante;
- Resistência do material filtrante à passagem do fluido;
- Resistência do resíduo gerado (torta de filtro).

2.2 Contaminação

Por mais que sejam tomados todos os cuidados necessários no dia a dia, a contaminação do óleo é difícil de ser evitada. Normalmente, ocorre por diversos fatores, como:

- Partículas geradas pelo próprio desgaste interno;
- Poeira que entra pelo filtro de ar;
- Se dá durante o abastecimento, manutenção ou montagem;
- Ocorre por causa de vazamentos no sistema;
- Durante o transporte, armazenagem ou transferência do óleo novo.

2.3 Filtração de óleo: normas de purificação

É preciso destacar que o processo de filtração de óleo necessita seguir normas que garantam a limpeza do fluido. Tais normas são regulamentadas por órgãos internacionais.

2.4 Norma NAS 1638 - Contagem de Partículas

A norma NAS 1638 representada na Tabela 1, classifica o nível de contaminação por cinco faixas de tamanho pela contagem das partículas em 100 mililitros. Desenvolvida em 1964 para definir a classe de contaminação em componentes de aeronaves e fluidos hidráulicos, ela determina o nível de contaminação pela contagem em 5 faixas de tamanho.

Tabela 1 - Classificação de nível de contaminação conforme norma NAS 1638 (1964)

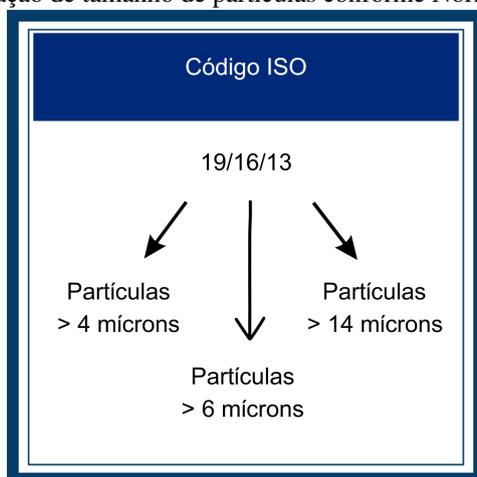
Micra	Número de partículas por 100 ml													
	00	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5 à 15	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	32000	64000	128000	256000	512000	1024000
15 à 25	22	44	89	175	356	712	1425	2850	5700	11400	22800	45600	91200	182400
25 à 50	4	8	16	32	63	126	253	506	1012	2025	4050	8100	16200	182400
50 à 100	1	2	3	6	11	22	45	90	180	360	720	1440	2880	5760
Acima de 100	0	0	1	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024

Fonte: Adaptado de *Datasheet Parker*, 2022

2.5 Norma ISO 4406

A ISO 4406 (*International Standards Organization*) representada na Figura 4, especifica o nível de padrão de limpeza do óleo e tem obtido uma vasta aceitação em muitas indústrias. Uma versão modificada, bastante utilizada deste padrão, refere-se ao número de partículas maior que 4, 6 e 14 microns em um certo volume, geralmente 100 mililitros. O número de partículas 4+ e 6+ microns é usado como ponto de referência para partículas sedimentadas. O tamanho 14+ indica a quantidade de partículas maiores presentes, que contribuem para uma possível falha catastrófica do componente.

Figura 4. Classificação de tamanho de partículas conforme Norma ISO 4406 (1999)



Fonte: Adaptado de *Datasheet Parker*, 2022

Uma classificação ISO de 19/16/13 pode ser definida como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Exemplo de classificação ISO 4406 (1999)

Faixa	Micron	Faixa de contagem
19	4+	2500-5000
16	6+	320-640
13	14+	40-80

Fonte: Adaptado de *Datasheet Parker*, 2022

Essa distinção em três parâmetros é importante, já que partículas maiores são mais susceptíveis a causar falhas catastróficas, enquanto as menores geram desgaste de forma mais gradual. Deste modo, sistemas de purificação de óleo hidráulico apresentam 3 filtros para garantir confiabilidade de filtragem e reduzir tempo de saturação. Na Tabela 3 temos a representação das partículas por mililitro de acordo com o padrão de limpeza do fluido.

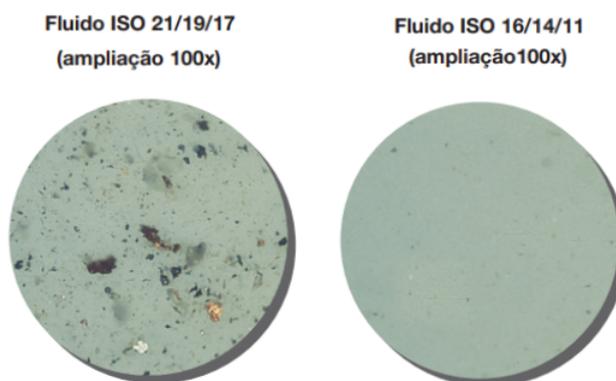
Tabela 3 - Padrão de limpeza do fluido

Partículas	Número de partículas por ml	
	Mais de	Até inclusive
24	80000	160000
23	40000	80000
22	20000	40000
21	10000	20000
20	5000	10000
19	2500	5000
18	1300	2500
17	640	1300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2.5	5
8	1.3	2.5
7	0.64	1.3
6	0.32	0.64

Fonte: Adaptado de *Datasheet* Parker, 2022

Como exemplificação, na Figura 5, é identificado visualmente as diferenças de classificação quanto ao tamanho de particulado na Norma ISO 4406.

Figura 5. Diferenças de classificação da norma ISO 4406 (1999)

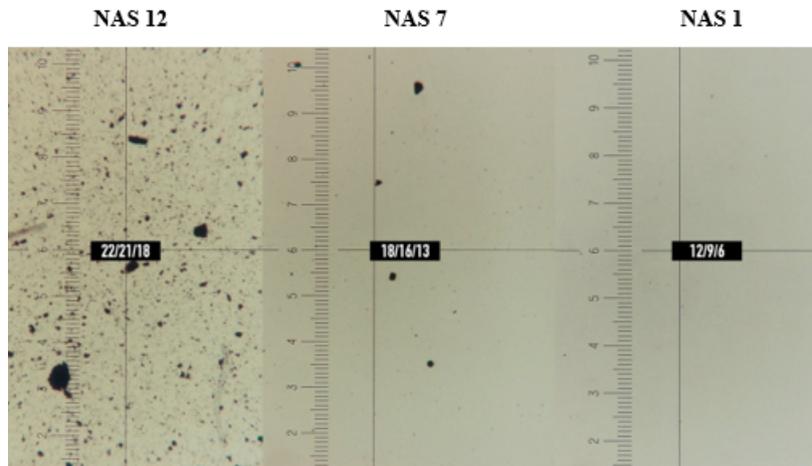


Fonte: Adaptado de *Datasheet* Parker, 2022

2.6 Correlacionando a norma NAS 1638 com a ISO 4406

Na Figura 6 é representado a união das normas para mostrar que estão correlacionadas quanto ao tamanho das partículas para cada categoria da norma NAS 1638.

Figura 6. Correlação das normas



Fonte: Mobil, 1979

2.7 Vantagens de Filtrar Óleo

Filtrar e controlar os contaminantes existentes nos sistemas hidráulicos torna-se imprescindível para garantir a qualidade e eficiência das máquinas e equipamentos(Thiago et al., 2015). Fazendo a filtragem podemos obter:

- Aumento de produtividade;

Ao passar pelo processo, o maquinário consegue trabalhar mais precisamente e com riscos reduzidos de falhas.

- Diminuição de trocas desnecessárias de filtros;

Há análises dentro da unidade de trocas desnecessárias de filtros antes do prazo estipulado pelo fabricante.

- Contribuição com o meio ambiente;

Com um índice menor de trocas de óleo desnecessárias, colaboramos com um menor descarte de óleo.

- Evita trocas desnecessárias de óleo;

É possível reutilizar o óleo hidráulico utilizando técnicas de análise e filtragem do óleo aumentando a sua vida útil.

- Diminuição dos custos de manutenção;

O custo de manutenção corretiva é sempre muito mais caro que investimentos em manutenções preditivas e preventivas.

- Aumento de vida útil do óleo;

Os contaminantes, principalmente metálicos, agem como catalizadores que aceleram o processo de oxidação do óleo e, portanto, aceleram o seu envelhecimento. Na Tabela 4 é representado as fontes metálicas típicas de contaminação encontrados na análise de óleo hidráulico.

Tabela 4 - Fontes típicas de elementos metálicos

Elemento	Fonte típicas
Alumínio	Pistões, mancais e poeiras
Antimônio	Mancais
Cromo	Cilindros, anéis, refrigerante, virabrequim e engrenagens
Cobre	Mancais, buchas e peças de bronze
Ferro	Cilindros, camisas, ferrugem e viraquebrim
Chumbo	Mancais, gasolina, graxas e tinta
Níquel	Eixos, anéis e válvula
Silício	Poeira e ante-espumantes
Estanho	Solda e mancais
Titânio	Molas, válvulas e componentes de turbinas
Zinco	Aditivo, mancais e chapas galvanizadas

Fonte: Adaptado de Gasparini (1983b)

2.8 Distribuição de Weibull

Dentro das análises estatísticas, encontra-se a análise de Weibull que é utilizada em muitas áreas como química, biologia, física e matemática. Com esse método, cientistas podem determinar a taxa de incidência de câncer de pulmão em fumantes ou a magnitude de terremotos, por exemplo.

A distribuição de Weibull é a distribuição mais comumente usada para modelagem de dados em confiabilidade. Sendo

fácil de interpretar e muito versátil.

Essa análise é desenvolvida utilizando aplicações da função de distribuição de Weibull (Mikolaj, 1972). Nessas aplicações foi citado exemplos de outras utilizações que o método poderia trazer resultados, sendo assim, foi aplicado à resolução de problemas de confiabilidade de uma multinacional no setor do agronegócio sucroalcooleiro.

Uma de suas aplicações mais importantes é sua utilização na indústria. A análise Weibull é muito importante para a engenharia da confiabilidade e, hoje em dia, é o principal método para estimar o tempo de vida útil de um produto.

Essas predições são feitas com base em uma estatística gerada a partir dos dados de vida de uma quantidade representativa de unidades de um determinado produto. Os dados de vida são medidas da vida de um produto. Essas medidas podem ser em minutos, horas, quilômetros, ciclos, etc...

Os conceitos da análise Weibull são diretamente relacionados à qualidade e à redução de falhas dentro da indústria.

A distribuição de Weibull é feita utilizando a linguagem de programação Python, através do Jupyter, para facilitar a automatização e melhor gestão de grande quantidade de dados. O Projeto Jupyter é uma organização sem fins lucrativos criada para "desenvolver software de código aberto, padrões abertos e serviços para computação interativa em dezenas de linguagens de programação. Dessa forma conseguir uma melhor comunicação com Nuvem e API. Também é possível realizar a distribuição de Weibull pelo Minitab, que é um programa voltado para fins estatísticos, utilizado em empresas, tendo funções mais específicas voltadas para gerenciamento.

2.8.1 Histórico

A distribuição de Weibull foi proposta originalmente por Fisher e Tippett em 1928, no estudo de valores extremos. Posteriormente, foi também desenvolvida de modo independente pelo engenheiro e matemático sueco em 1939 em seus estudos sobre a resistência dos materiais. Após o fim da II Guerra Mundial, as pesquisas no período pós-guerra deram ênfase às análises de resistência dos materiais, o que resultou na associação de seu nome a esta distribuição (Bailey e Dell, 1973).

Em 1951, Weibull publicou um artigo descrevendo brevemente a origem desta distribuição e as bases de sua derivação, identificando aplicações das mais variadas nos diversos exemplos citados pelo autor, tanto da área biológica quanto da engenharia (Aurélio, 2010).

De acordo com Knoebel et al. (1988), a distribuição de Weibull foi primeiramente empregada no meio florestal como modelo de distribuição diamétrica por Bailey em 1972. Bailey e Dell (1973) demonstraram as propriedades favoráveis da Weibull neste tipo de estudo por meio de sua aplicação a diferentes exemplos de estruturas diamétricas e espécies. Desde esta data, inúmeros outros autores têm utilizado com sucesso esta distribuição na área florestal (Aurélio, 2010).

2.8.2 Formas da distribuição e obtenção dos parâmetros

A distribuição de Weibull existe nas formas de dois e três parâmetros, usualmente chamadas de Weibull 2P e Weibull 3P e são dadas, respectivamente, pela Equação 1 e Equação 2. (Vallejos, 2003; Vallejos et al., 2004; Knoebel et al., 1988; Feduccia et al., 1979); (Aurélio, 2010).

$$F(x) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta}} \quad (1)$$

$$F(y) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \left(\frac{y-a}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{y-a}{\alpha}\right)^{\beta}} \quad (2)$$

sendo β o parâmetro de forma, α o parâmetro de escala, a o parâmetro de locação e x a variável que define o período de vida útil, por exemplo, o tempo de funcionamento da máquina. A variável que define o período de vida útil pode ser expressa em distância percorrida (km), em número de ciclos (n) ou em tempo de funcionamento (h).

De acordo com Bailey e Dell (1973), estas duas formas de apresentação da distribuição estão relacionadas pela transformação $y = x + a$. No caso da Weibull 3P, o parâmetro de locação é considerado, tornando a formulação mais flexível (forma, escala e posição), conferindo-lhe grande versatilidade em aplicações pragmáticas em diversas áreas do conhecimento. Já para a Weibull 2P, o parâmetro de locação é considerado como nulo (Aurélio, 2010). O parâmetro de locação a representa o menor limite da distribuição, geralmente é estimado de forma independente, e deve ser conhecido previamente à estimativa dos outros parâmetros. O parâmetro de escala α representa a amplitude da curva e o parâmetro de forma β promove diferentes inclinações a esta, definindo assim que tipo de curva será representado (Bailey e Dell, 1973; Scolforo, 1996):

- $\beta < 1$ – forma hiperbólica negativa;
- $\beta = 1$ – forma exponencial;
- $\beta = 2$ – forma da distribuição de Ray Leight, um caso especial da distribuição qui-quadrado;
- $\beta = 3,6$ – forma normal;
- $\beta > 3,6$ – forma normal com assimetria negativa;
- $1 < \beta < 3,6$ – forma normal com assimetria positiva

Integrando as funções representadas na Equação 1 e Equação 2, obtém-se as funções de distribuição acumulada $W(x)$ expressando, respectivamente, as funções acumulativas da Weibull com 2 e 3 parâmetros. Em teoria da probabilidade, a função distribuição acumulada (fda) ou simplesmente função distribuição, descreve completamente a distribuição da probabilidade de uma variável aleatória de valor real x .

As Equações 3 e 4 representam as funções acumulativas de Weibull com 2 e 3 parâmetros, respectivamente.

$$W(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta} \quad (3)$$

$$W(y) = 1 - e^{-\left(\frac{y-a}{\alpha}\right)^\beta} \quad (4)$$

Em linguagem matemática, a função de nome W é igual à probabilidade de que a variável aleatória x assuma um valor inferior ou igual a determinado x . Note que, via de regra, para cada x , a função W assumirá um valor diferente.

Como exemplo, suponha-se que x é distribuído uniformemente pelo intervalo $[0, 1]$. Nesse caso a função distribuição acumulada é dada por:

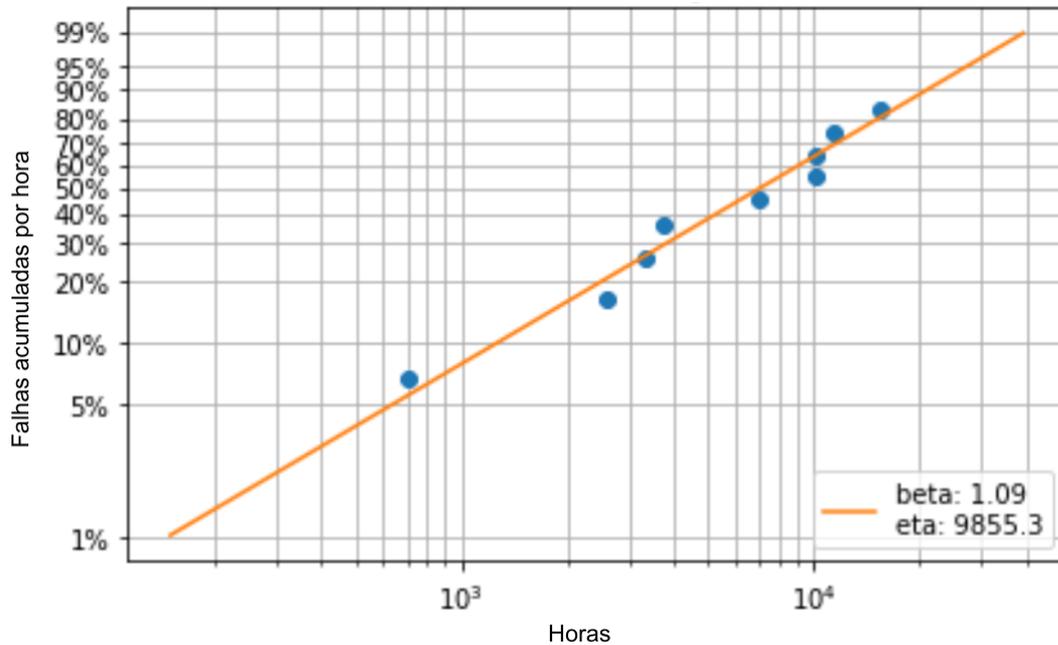
$$W(x) = 0, \text{ se } x < 0; \quad (5)$$

$$W(x) = x, \text{ se } 0 < x < 1; \quad (6)$$

$$W(x) = 1, \text{ se } x > 1. \quad (7)$$

Existem diferentes formas de ajustar a distribuição Weibull, a programação em Python desenvolvida se encontra no Apêndice A e B. O Python com suas bibliotecas e funções realiza a distribuição de Weibull de forma automática, sendo necessário apenas a importação do banco de dados (Excel). No Apêndice A, a distribuição é ajustada utilizando a função *Fitweibull* dentro da *Scipy* e *Numpy*. No Apêndice B, a distribuição de Weibull é feita pela própria biblioteca "Weibull" em que o *alpha* é representado como parâmetro de escala e o *beta* como o parâmetro de forma. A Figura 7 mostra um exemplo para distribuição de probabilidade de Weibull.

Figura 7. Gráfico de probabilidade de Weibull



Fonte: Autoria própria

Na representação gráfica de probabilidade de Weibull, na Figura 7, é notado o valor de *beta* um pouco maior que 1. Se o *beta* for menor que 1, é um indicativo de que a falha está decrescente. Esse cenário é típico da chamada mortalidade infantil indicando a falha após seu período de nascimento. Se o *beta* for igual a 1, é um indicativo de falha constante. São componentes que após sobreviverem ao nascimento possuem uma taxa de falha constante. Se *beta* for maior que 1, é um indicativo de falha crescente. Esse cenário é típico de componentes que falham por desgaste. O *eta* representado no gráfico representa a plotagem da vida característica ou parâmetro de escala (intervalo de tempo ($y - a$) no Weibull 3P ou x , no Weibull de 2P, no qual ocorrem 63,2% das falhas, restando, portanto, 36,8% das amostras sem falhar).

Finalmente, a confiabilidade, isto é, a probabilidade de um item (máquina, equipamento, outros) desempenhar satisfatoriamente a função requerida pode ser definida pela Equação 8:

$$C(x) = 1 - W(x) \tag{8}$$

Dessa forma, a confiabilidade de Weibull de 2 parâmetros e 3 parâmetros é representado nas Equações 9 e 10, respectivamente.

$$C(x) = e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta} \tag{9}$$

$$C(y) = e^{-\left(\frac{y-a}{\alpha}\right)^\beta} \tag{10}$$

3. RESULTADOS

A gestão do controle de estoque de óleo e disponibilidade é feita através de um aplicativo, em que seu layout foi criado pelo *Power Apps*. O *Power Apps* é um conjunto de serviços e conectores, bem como uma plataforma de dados que oferece um ambiente de desenvolvimento rápido de aplicativos para criação dos apps personalizados para suas necessidades de negócios. No aplicativo, é garantido a disponibilidade e representação gráfica de movimentações através do *Power BI* conectado a um banco de dados no Excel e conectado ao próprio *Power Apps*. O *Power BI* é uma coleção de conectores que trabalham juntos para transformar suas fontes de dados não relacionadas em informações coerentes, visualmente envolventes e interativas. Qualquer movimentação realizada no *Power Apps* automaticamente atualiza o Excel e o *Power BI* e todos são conectados pela nuvem *Onedrive*, como exemplificado na Figura 8.

Figura 8. Conexão Onedrive, Excel, Power BI



Fonte: Autoria própria

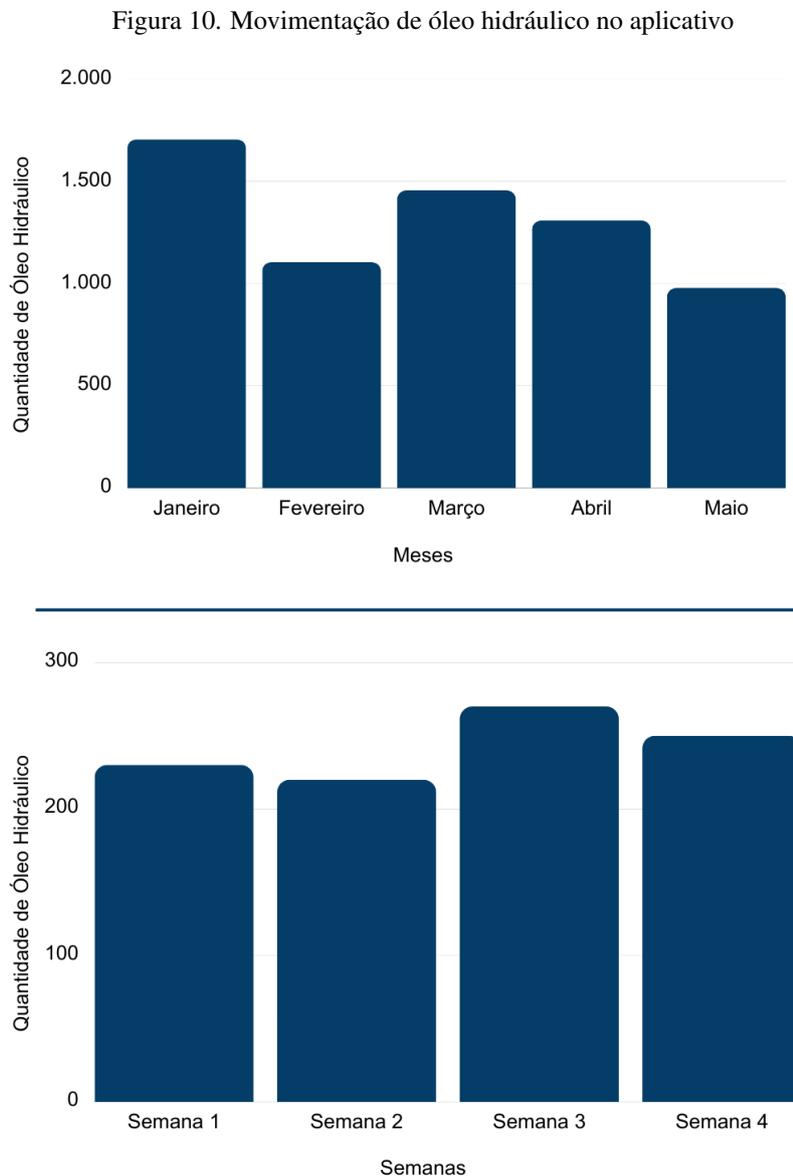
A interface do aplicativo é representada na Figura 9. O aplicativo é um modelo básico de controle de estoque, sendo representado principalmente por saída e entrada de óleo hidráulico e novas inclusões. Dentro do *Power Apps*, é possível criar qualquer layout e inclusão de funcionalidades de acordo com a utilização, como por exemplo, leitura de QR Code, mapeamento de frotas, entre outros.

Figura 9. Exemplo de páginas do aplicativo



Fonte: Autoria própria

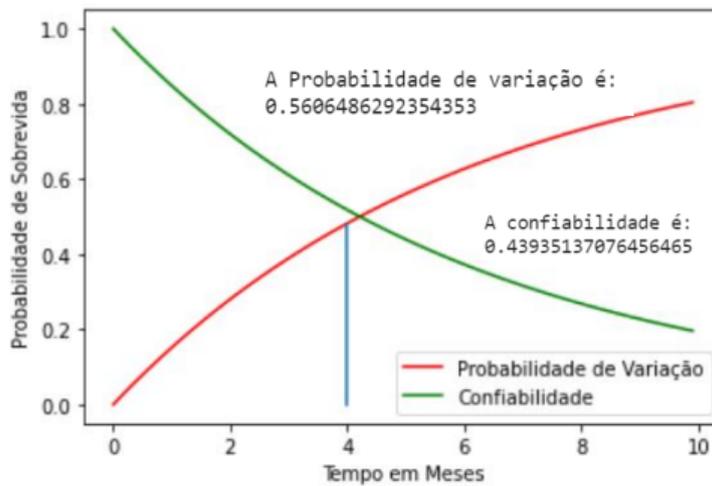
A Figura 10 abaixo representa o resultado da interligação do *Power BI*, *Power Apps* e banco de dados. As ferramentas da Microsoft são conectadas pela nuvem e, são atualizadas através da entrada de dados no aplicativo e dessa forma, todas as informações lançadas no aplicativo atualiza o *Power BI* que gera gráficos estatísticos e movimentações em tempo real atualizando o banco de dados.



Fonte: Autoria própria

Através da resolução das equações de Weibull, equação de curvas de confiabilidade e probabilidade de variação, são obtidos os resultados para a confiabilidade do óleo hidráulico para a frota de tratores, como mostra a Figura 11. O código econontra-se no Apêndice A, nele é plotado o gráfico de 10 meses para melhor visualização das curvas, pois é aproximadamente o tempo de troca de óleo hidráulico das máquinas agrícolas. A curva verde representa confiabilidade do óleo hidráulico ao longo dos meses e a vermelha, a probabilidade de variação das propriedades físico-químicas do óleo hidráulico. A linha azul é a representação do mês em que é desejado saber as porcentagens de confiabilidade e essa informação é obtida automaticamente após rodar o código em Python (Apêndice A).

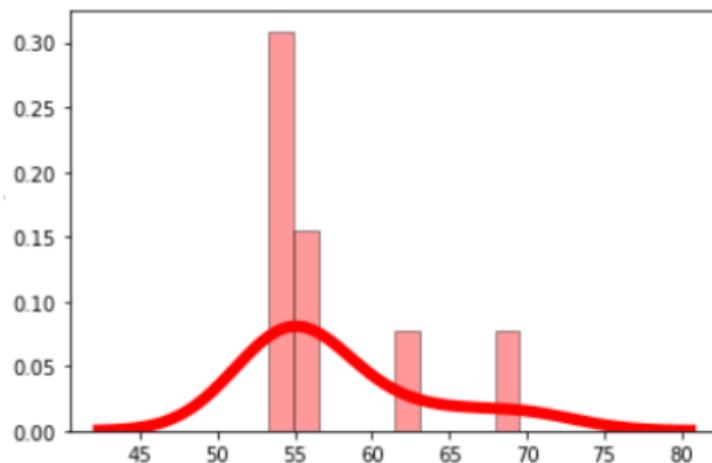
Figura 11. Curvas para confiabilidade e probabilidade de variação das propriedades do óleo lubrificante da frota de tratores



Fonte: Autoria própria

Plotando o gráfico histograma e função de densidade gráfica, conforme o código no Apêndice A, temos o gráfico do controle de variações de propriedades físico-químicas ao longo do tempo, como mostrado na Figura 12. O eixo y representa a quantidade de amostras e, o eixo x representa a variação das propriedades físico-químicas (viscosidade).

Figura 12. Histograma e densidade gráfica



Fonte: Autoria própria

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido um aplicativo para gestão de óleo hidráulico para análise preditiva. Na aplicação deste aplicativo, dentro do cenário da automotiva agrícola da grande empresa sucroalcooleira, é previsto uma redução do consumo de óleo hidráulico contribuindo com o meio ambiente e o orçamento da companhia, reduzindo cerca de 80% o valor gasto em trocas de óleo hidráulico. Além disso, contribui para a redução do consumo de componentes hidráulicos e, também, para a redução de quebras de sistemas hidráulicos proporcionados por contaminação de óleo hidráulico inadequado. Foi verificada uma padronização da gestão de retirada de óleo hidráulico das máquinas agrícolas, garantindo confiabilidade na intervenção da manutenção e reposição nas máquinas. Ainda, foi verificado um aumento da disponibilidade mecânica de todas as frotas, garantindo entregas responsáveis para utilização ininterruptamente à serviço da companhia em safras e entressafras.

5. REFERÊNCIAS

HECK, Thiago. INFLUÊNCIA DO CONCEITO DO SISTEMA DE FILTRAGEM NA FILTRAÇÃO DO ÓLEO HIDRÁULICO. Congresso Anual da ABM, 2017.

MIKOLAJ, PAUL G. Environmental Applications of the Weibull Distribution Function: Oil Pollution. Vol 176, Issue 4038. SCIENCE: 2 Jun 1972

OLIVEIRA, Marcos. Manual da Filtração Industrial. 2ª edição. São Paulo: Artliber Editora: 2013.

AURÉLIO, MARCO F. A DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL NA DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA DE *Eucalyptus grandis*: UM ENFOQUE SOBRE O MÉTODO DOS MOMENTOS. Curitiba: 2010

BAILEY, R.L.; DELL, J.R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science*, Bethesda, v. 19, n.2, p. 97-104, 1973.

KNOEBEL, B.R.; BURKHART, H.E.; BECK, D.E. A growth and yield model for thinned stands of yellow-poplar. *Forest Science Monograph* 27, 1986, Supplement to *Forest Science*, v. 32, n. 2, 1988.

VALLEJOS, O.S.B.; SANQUETTA, C.R.; ARCE, J.E.; MACHADO, S. do A.; DALLA CORTE, A.P. Proposta metodológica para o ajuste ótimo da distribuição diamétrica Weibull 3P. *Revista Floresta*, v. 34, n. 3, p. 387-393, set-dez, Curitiba, PR, 2004.

VALLEJOS, O.S.B. Sistema de simulação de crescimento e produção de *Populus* spp., no Chile (Sistema SALICA). Tese de doutorado, 113 p., UFPR, 2003.

WEIBULL, W. A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics*, Stockholm, Sweden, p. 293-297, September, 1951.

FEDUCCIA, D.P.; DELL, T.R.; MANN JR, W.F.; CAMPBELL, T.E.; POLMER, B.H. Yields of unthinned loblolly pine plantations on cutover sites in the West Gulf region. US Department of Agriculture, Forest Service, Research Paper SO-148, 1979.

DRAPINSKI, Janusz. *Manutenção Mecânica Básica: Manual Prático de Oficina*. São Paulo, McGraw-Hill, 1978.

SACRISTAN, Francisco Rey. *Gestão Industrial, Manutenção Mecânica na Indústria e Oficinas*. Portugal, Cetop, 1992. [coleção Gestão].

MOBIL. *Fundamentos da Lubrificação*. São Paulo, Mobil, 1979.

PARKER. White paper: "Normas e Padrões (ISO 4406 e NAS 1638) no Controle da Contaminação". Publicação eletrônica, 2019 <<https://www.vemag.com.br/novo/wp-content/uploads/2019/03/Normas-de-Controle-de-Contamina%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 23 de Abril, 2023

FARIA, J. G. de Aguiar. *Administração da Manutenção*. São Paulo, Edgard Blucher, 1994.

MIRSHAWKA, Victor. *Manutenção Preditiva: Caminho para o Zero Defeito*. São Paulo, Macgraw-Hill, 1991.

GASPARINI, C.T. Análises programadas de óleos lubrificantes como instrumento de manutenção preventiva. *Revista da Associação dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil*. p. 43-47, 1983 b.

R. A. FISHER and L. H. C. TIPPETT, "Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample," *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, vol. 24, pp. 180-190, 1928.

SCOLFORO, J.R.S.; MACHADO, S. do A. Um sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. *Scientia Forestalis*, n. 50, p.51-64, 1996.

6. Apêndice A - Programação em Python utilizada para obter as curvas de confiabilidade

```
@author: Renan Diniz
"""

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import math
import pandas as pd
import seaborn as sns

%matplotlib inline

from scipy import stats
from scipy.stats import exponweib
from scipy.optimize import fmin

dados = pd.read_csv('renanfat')

dados.shape

dados.head()

#Transformando o Dataset em Array
x=dados.to_numpy()

# x é a nossa data array
# returns [shape, scale]

def fitweibull(x):
    def optfun(theta):
        return -np.sum(np.log(exponweib.pdf(x, 1, theta[0], scale = theta[1], loc = 0)))
    logx = np.log(x)
    shape = 1.2 / np.std(logx)
    scale = np.exp(np.mean(logx) + (0.572 / shape))
    return fmin(optfun, [shape, scale], xtol = 0.01, ftol = 0.01, disp = 0)

fitweibull(x)

shape,scale=12.2045166, 11.31542834

sns.distplot(x, hist=True, kde=True,
             bins=10, color='r',
             hist_kws={'edgecolor':'black'},
             kde_kws={'linewidth':4})

#Criando o domínio:

xg=np.arange(0,10,0.1)

#Probabilidade Acumulada:

weibull = 1-np.exp(-xg/scale)**shape

#Curva de Probabilidade de Falhas Acumuladas

z=3
```

```
pw=1-np.exp(-z/scale)**shape

plt.plot(xg,weibull,color='r', label='Probabilidade de Falhas')
plt.plot(xg,1-weibull,color='g', label='Confiabilidade')
plt.plot([z,z],[0,pw])
plt.legend(loc=4)
plt.show
plt.title('Curva de Confiabilidade')
plt.xlabel('Tempo em Horas')
plt.ylabel('Probabilidade')

print('A Probabilidade de variação é:')
print (pw)

print('A confiabilidade é:')
print (1-pw)
```

7. Apêndice B - Programação em Python utilizada para obter o gráfico de probabilidade mostrado na Figura 7

```
@author: Renan Diniz
"""

import weibull
%matplotlib inline

print('weibull version:', weibull.__version__)

failure_times = [
    10197.8, 3349.0, 15318.6, 710.7, 20683.2,
    6976.5, 2590.7, 11351.7, 10177.0, 3738.4
]

suspensions = [False, False, False, False, True,
               False, False, False, False, False]

analysis = weibull.Analysis(failure_times, suspensions, unit='hour')
analysis.fit()

print(f'beta: {analysis.beta:.02f}\neta: {analysis.eta:.1f}')

analysis.probplot()

analysis.stats

analysis.b(2)

analysis.pdf()
analysis.sf()
analysis.hazard()
analysis.cdf()
analysis.fr()
```