## Resultados

8

Neste capítulo de resultados será explícito as observações mais interessantes extraídas de todo o processo, este engloba desde a seleção de dados passando pela clusterização e finalmente pela observação dos resultados. Será titulado neste trabalho como "rodada" o processo de submissão dos dados a clusterização com ao software WEKA e então observados no software TIBCO Sporfire<sup>®</sup>.

No primeiro momento foi realizado uma tentativa de um modelo mais rápido e direto. Aqui buscou-se um par de parâmetros de PSB e RPM que influenciassem no nível de severidade de vibração, foram utilizadas fases de diâmetro de 12 ¼"e 8 ½". Foi realizado uma primeira rodada, titulada como rodada 1, com uma menor quantidade de variáveis na busca inicial de um processo o mais simples possível, somente três variáveis a saber: peso sobre broca, rotação e vibração do tipo torcional. Após os dados serem utilizados no WEKA este retornou quatro clusters sendo então melhor visualizados no TIBCO Sporfire conforme figura 8.1. Esta figura está disposta em quatro dimensões: eixo x peso sobre broca (PSB) com escala de 0 a 60 klbs, eixo y o respectivo número do cluster com escala de 0 a 3, eixo z com rotação por minuto (RPM) com escala de 0 a 200 e a quarta dimensão se caracteriza pela cor da variável de acordo com o nível de severidade da vibração torcional com escala de 0 a 7 indo de um tom mais azul até um tom mais vermelho respectivamente, quanto maior este número maior a severidade.

Nesta figura 8.1 não foi observado qualquer parâmetro que fosse determinante ou tivesse grande participação no resultado tanto para baixas vibrações quanto para altas vibrações. Nos clusters 0, 1 e 3 não é possível observar um PSB ou RPM ou uma combinação de ambos que determine uma vibração mais alta ou mais baixa. Qualquer combinação destes dados apresenta tanto níveis altos (grupo de cor mais avermelhada) quanto níveis baixos (grupo de cor mais azulada). Portanto é de comum consenso que uma maior quantidade de variáveis se torna necessário para melhores conclusões.



Figura 8.1. Cluster rodada 1 com apenas 3 variáveis

Nesta rodada 2 foram utilizados mais dados no cluster totalizando 17 variáveis : Avg X , Avg Y , Avg Z, Peak X, Peak Y, Peak Z, RPM min, RPM mean, RPM max, nível vibração axial, nível vibração lateral, nível vibração stickslip, peso fluido, ROP, RPM, vazão, PSB, Torque. Nesta rodada buscou-se encontrar uma correlação de parâmetros de PSB e RPM influenciando no nível de severidade de vibração com uma maior quantidade de parâmetros utilizados na clusterização visto que os resultados da rodada 1 não foram satisfatórios.

Embora tenha-se empregado os diâmetros de fase 12 1/4" e 8 1/2" foi observado que dentre os próprios resultados do programa WEKA, ao realizar a clusterização, este identificou que o diâmetro das fases perfuradas era um diferencial tão significativo que existiram clusters onde predominava tal distinção. A partir da primeira rodada foram obtidos como resultado quatro clusters distintos onde dois obtiveram destaque pois apresentavam respectivamente vibração muito baixa e o outro vibração muito alta. Este resultado pode ser melhor observado na figura 8.2 com eixo X contendo RPM com range de 0 a 200, eixo Y representando o número de clusters variando de 0 a 3, eixo Z a taxa de penetração (ROP) no range entre 0 e 50 m/h e uma quarta dimensão que se caracteriza pela cor da variável de acordo com o nível de severidade da vibração torcional com escala de 0 a 7 indo de um tom mais azul até um tom mais vermelho respectivamente, quanto maior este número maior a severidade. Partindo para a observação de resultados no gráfico tem-se que nos clusters 0 e 3 onde respectivamente apresentam cores predominantemente azul correspondente a baixo nível de severidade e amarelo/vermelho correspondendo a nível de severidade alto.



Figura 8.2. Rodada 2 resultado utilizando 17 variáveis na clusterização

Ainda nesta figura 8.2 observar que o cluster 0 representa 40% dos dados de todo o processo e, dentro apenas desta percentagem, em 68,8% dos casos ha uma predominância do motor de fundo no BHA enquanto no cluster 0 representando 28,5% do total de dados possui 51,1% de casos representando uma predominancia da ferramenta de Rotary Steerable na composição do BHA. Devido a distinção tão acentuada através deste mesmo processo foi decidido investigar separadamente os clusters 0 e 3 buscando maiores características que ajudassem a identificar fatores de influência positiva e negativa no fenômeno de vibração.

Foi realizado separadamente um novo processo de clusterização em cada um destes dois clusters de destaque. Realizando esta nova rodada, denominada de rodada 3, foi escolhido o cluster 3 da rodada de número 2. O resultado está apresentado na figura 8.3 com eixo x contendo PSB variando de 0 a 60 klbs, eixo y contendo o número do cluster variando de 0 a 3, eixo z com taxa de penetração entre 0 e 20 m/h, a cor e a quarta dimensão neste caso representando o nível de severidade da vibração do tipo torcional variando de 0 a 7 sendo tons de azul correspondendo a valores de severidade baixo e tons de vermelho correspondendo a valores de severidade alto e em uma quinta dimensão o tamanho do cubo que representa um valor no gráfico onde cubos maiores retratam valores de torque acima de 15 klbs.pé e tamanho de cubo menores representam valores de torque menores do que 15 klbs.pé . Foram gerados outros quatro clusters e deste novo conjunto de clusters, o de número 2, teve comportamento interessante a ser investigado.

Na figura 8.4 de mesma configuração de gráfico conforme descrito anteriormente na figura 8.3, o cluster de número 2 foi isolado para uma melhor visualização ao estudo que se segue neste parágrafo. Em análise, tem-se a forma de uma pirâmide quando plotado gráfico, esta geometria poderia ser entendida como valores que representam desgaste alto da broca de perfuração levando em conta o peso aplicado e a taxa de penetração em resposta a esta entrada. Esta linha de raciocínio se torna possível se entendido que com um desgaste acentuado são realizadas tentativas de diferentes pesos aplicados na broca afim de melhorar a taxa de perfuração. Nem sempre um peso alto aplicado e o melhor caminho para alcançar uma taxa alta, deve haver um balanço entre estes dois parâmetros pois um peso muito alto irá acelerar o processo de desgaste da broca ocasionando uma manobra de coluna para a troca deste equipamento precocemente incrementando o custo operacional do poço. Conforme observa-se no gráfico 8.4 este range vai de valores próximos de 0 klbf até valores altos em torno de 50 klbf e com taxa de penetração baixa até 5 m/h. Esta conclusão pode se confundir com o teste de *drilloff* uma vez que este e realizado no início da perfuração afim de otimizar a taxa através do peso sobre a broca aplicado. Um peso muito alto pode ser aplicado no início da perfuração devido a este teste sem que a broca esteja comprometida com o desgaste porem esta dúvida só poderá ser realmente resolvida caso uma nova variável seja adicionada aos estudos, a variável de metragem acumulada. A partir desta nova informação em cada ponto, além das demais características, também estará presente o acumulo de metros perfurados pela broca ajudando então a determinar se este componente da coluna de perfuração está pouco ou muito desgastado.



Figura 8.3 Rodada 3 tomando os dados do cluster 3 da rodada 2



Figura 8.4 Rodada 3 tomando os dados do cluster 3 da rodada 2 sendo destacado somente o cluster 2 com base em formato de pirâmide.

Após a inclusão de novos parâmetros julgados essenciais para conclusões mais apuradas e de maior fundamento, inclusos MSE ( do inglês *Mechanical Specific Energy* ), UCS ( do inglês *Unconfined Compressed Strength* ) e metragem acumulada, também decidiu-se realizar a fragmentação por diâmetro de fase e então realizado uma nova rodada de clusterização.

Nesta rodada ,denominada rodada 4, foi contemplado parâmetros com MSE e vibração apenas. Não foram inseridos os parâmetros de perfuração uma vez que seriam redundantes visto que estão implícitos nos cálculos de MSE.

Conforme pode ser observado na figura 8.5 é confirmado a suspeita levantada nas primeiras rodadas. Os resultados disponibilizados em forma de pirâmide voltam a aparecer com um outro tipo de informação que irá ajudar a identificar melhor uma curva de desgaste, o de metragem acumulada. Observando a figura 8.6 somente com os clusters mais representativos, os de número 1 e 2, é possível identificar a metragem acumulada em uma quinta dimensão caracterizada pelo tamanho dos pontos no formato de cubos. Aqueles de tamanho maior identificam uma maior metragem acumulada, cerca de mais do que 400 metros acumulados em uma corrida, e os de menor tamanho retratam uma menor metragem acumulada, menos do que 410 metros acumulados em uma corrida. Interessante notar que o topo da pirâmide está composta principalmente de cubos de menor tamanho enquanto que quando há um avanço a base da mesma o tamanho dos cubos é bem maior. Lembrando que as demais dimensões são PSB eixo x, número do cluster eixo y, RPO eixo z e a cor do cubo determina a severidade da vibração do tipo torcional sendo então a quarta dimensão aqui determinada. Outra observação bastante interessante é que esta pirâmide pode vir a indicar uma curva de desgaste pois a base da mesma possui todo o range esperado de valores aplicados no parâmetro de PSB variando entre próximo a 0 klbs até 50klbs com taxa de penetração muito baixa caracterizando que a partir de uma metragem alta os parâmetros de perfuração utilizados não mais surtiam efeito positivo na taxa e o range abrangendo muitos valores indica que foram testados vários PSB porem sem incremento positivos na taxa de perfuração que esteve baixa em uma zona de metragem acumulada alta indicando desgaste acentuado.





O cluster 2 desta rodada 4 (Figura 8.6) contendo em sua maior parte níveis médio a severo de vibração do tipo torcional teve seus dados exportados para uma planilha afim de um melhor tratamento dos dados. Foi realizado um gráfico de duas dimensões com dados de PSB no eixo x e dados de ROP no eixo y somente para a fase de diâmetro de broca de 12 1/4", vale ressaltar que há uma predominância do sistema de perfuração do tipo RSS em cerca de 82 %. Neste gráfico do tipo pirâmide presente na figura 8.7 foram determinadas zonas de número 1 a 3 respectivamente de alto, médio e baixo rendimento levando em conta a metragem acumulada, o PSB utilizado e o ROP desenvolvido numa combinação destes dois parâmetros anteriores para esta análise. Esta figura ilustra as características de cada uma das 3 zonas destacando o ROP médio e a metragem media. O ROP médio foi calculado ponderando-se pela metragem acumulada de cada uma das 3 zonas respectivamente. Os resultados gerais de cada zona estão exposto na tabela 8.1. Da figura gerada pode-se retirar uma possível curva de desgaste acumulado de broca do tipo PDC de acordo com a metragem acumulada ao longo de uma corrida de perfuração, quanto maior o metro perfurado acumulado maior a possibilidade de desgaste e é possível determinar um ponto ótimo onde ações de variação de PSB na tentativa de aumento de taxa de penetração não obtém resultados satisfatórios consumindo tempo da sonda de perfuração onde seria mais econômico realizar uma manobra de troca de broca e retomar ao fundo com um equipamento completamente novo. Esta variação de PSB sem sucesso em relação a um aumento de ROP é de fácil observação na Zona de número 3 onde um range alto de peso abrangendo entre valores baixos perto de 0 klbf até valores altos perto de 60klbs não conseguem atingir valores de ROP maiores que 7 m/h. Não confundir com o teste de drill off uma vez que diferentes PSB são testados para otimização de taxa e, neste caso, a alta metragem perfurada acumulada é garantia que este teste não está sendo efetuado e sim a busca incessante de incremento da taxa de penetração com o conhecimento de que existe um desgaste elevado na broca.



Figura 8.6 Clusterização realizada com MSE e vibração destacado.



Figura 8.7. Metragem acumulada e desgaste para alta vibração

ZONA	ROP	ROP MÉDIO (m/h)	METRAGEM ACUMULADA MÉDIA (m)	% EM RELAÇÃO A METRAGEM TOTAL
1	ALTO	22,89	191	22%
2	MÉDIO	12,64	278	32%
3	BAIXO	4,52	408	47%

Tabela 8.1. Características principais de cada zona da pirâmide encontrada

Esta próxima rodada será atribuída a de número 5 e busca a influência do número de estabilizadores nos registros de vibração do tipo torcional. Embora equipamento tem como função principal estabilizar a coluna afim de minimizar o movimento lateral durante a perfuração aqui busca-se determinar uma tendência em relação ao número de estabilizadores e qual a influência do aumento e ou redução deste componente nos registros de vibração do tipo torcional.

Foi entendido como estabilizador para este estudo, além do componente em si, aquelas ferramentas que possuem alguma parte de sua estrutura um diâmetro próximo a de um estabilizador no poço. Por exemplo um *rotary streerable system* (RSS), ferramenta de navegação, que possui haletas muito próximas a parede do poço responsáveis por auxiliar no direcionamento da broca ou ferramentas de LWD/MWD com leitura de raios gamma e resistividade da formação que possuem em seu corpo diâmetro aproximado de um estabilizador.

Nesta observação inicial foram aproveitados os mesmos resultados extraídos da clusterização proveniente da rodada de número 2 do software WEKA porem quando visualizados no software TIBCO Spotfire<sup>®</sup> este teve o gráfico modificado de acordo com figura 8.9 com eixo x apresentando o número do respectivo cluster, o eixo y representa o número de estabilizadores e o eixo z a severidade do nível de vibração do tipo torcional o qual também está explicito pela cor dos pontos com tons de azul para níveis mais brandos e tons de vermelho para níveis mais críticos. Importante destacar que na gama de dados selecionados nestes 11 poços distintos o range do número de estabilizadores presentes na coluna varia entre três a nove unidades. Apenas para uma visualização mais limpa da conclusão que aqui se quer chegar foi selecionado um cluster, o de número 0, para um melhor entendimento do resultado vide figura 8.10.

Na mesma figura 8.10 observa-se que o diferente número de componentes, no caso de estabilizadores, apresentam tanto vibração torcional em nível baixo quanto em um nível alto independente deste número. Interessante observar que a medida de torque é ilustrada pelo tamanho do cubo sendo aqueles de maior tamanho correspondendo a valores de torque altos entre 15 klbs.pé e 20 klbs.pé e os de menor tamanho correspondendo a valores de torque baixos entre 5 klbs.pé e 10 klbs.pé. Isto nos leva a concluir que embora os clusters resultantes apresentem vibração de nível alto independentemente do número de estabilizadores, observar clusters 0 e 2, as colunas que possuem 8 e 9 componentes tem um torque menor quando comparadas com aquelas que detém um número menor do que estes em sua composição. A partir desta conclusão é de se pensar em criar uma sub classificação de nível de severidade visto que um nível severo com torque considerado alto é muito mais agravante do que um torque considerado baixo exposto pelo mesmo intervalo de tempo.

Para as companhias de serviço que provem este tipo de equipamento as operadoras de perfuração este é um artificio de classificação que vem a controlar melhor o risco e ao dano a que serão submetidos. O tempo acumulado exposto a vibração e em diferentes níveis de severidade é um fator limitante para que a companhia de serviço determine se suas ferramentas estão aptas ou não a uma próxima corrida, em campo não é possível abrir a carcaça da ferramenta e realizar qualquer espécie de manutenção então esta classificação é comumente utilizada. Esta subdivisão aqui proposta pode vir a ajudar na determinação deste limite pois sob um mesmo regime de tempo a qual uma ferramenta foi submetida para um nível severo de vibração do tipo torcional será visto sob outra visão dependendo da natureza do torque a qual foi submetida.

Para campos que possuem histórico de alta vibração, falhas de ferramenta do tipo MWD/LWD e estabilizadores que retornam do poço com diâmetro reduzido ou haletas comprometidas é recomendado que se utilize um número de estabilizadores entre 8 e 9 unidades pois embora ainda apresente histórico de nível severo o torque sofrido por estes componentes será de menor magnitude.



Figura 8.8 Influência na vibração do número de estabilizadores presentes na coluna



Figura 8.9 Somente cluster 0 da rodada 5

Outro ponto interessante foi investigar a influência da distância do sensor que realiza a medição da vibração, este que contém os magnetômetros e acelerômetros destinados a este fim, em relação a broca. Aqui buscou-se verificar se sensores mais distantes da broca iriam realizar medições diferenciadas em relação aqueles mais próximos desta.

Foi realizada uma rodada, denominada aqui de rodada 6, onde os atributos utilizados na clusterização foram: distância do sensor em relação a broca em metros, nível de severidade da vibração do tipo torcional adimensional, MSE em ksi, metragem acumulada em metros e fase em polegadas.

Conforme figuras 8.11 e 8.12 observa-se que independente da distância do sensor em relação a broca foi apresentado uma leitura tanto para níveis de vibração alta quanto para níveis baixos ambos para aquela do tipo torcional. Caso diferentes distancias de sensor a broca consideradas altas, por exemplo acima de 15 metros, apresentassem leituras de nível de severidade baixo em sua maioria este resultado seria passível de investigação porem como não é o caso conclui-se que a distância do sensor de vibração em relação a broca não tem influência na leitura do fenômeno seja positivamente ou negativamente.

Investigando a leitura do parâmetro conhecido como torque existe uma diferença em relação ao diâmetro da fase conforme pode ser observado na figura 8.13 representando leituras apenas da fase de 8,5" e 8.14 representando leituras deste parâmetro apenas da fase de 12,25". Observa-se que as distancias do sensor em relação a broca estão em um intervalo de dados próximos, este valor varia entre 5 a 18 metros, e fica claro que a fase de 8,5" apresenta valores de torque menores do que aqueles perfurados por uma fase de 12,25" porem esta diferença não se justifica pela distância do sensor e sim pela natureza da perfuração em um diâmetro menor. Observando a figura 8.15 está exposto uma média ponderada em relação a metragem acumulada respectivamente de cada fase tanto para valores de torque quanto a distância média do sensor em relação a broca. Um observador destes dados poderia vir a se equivocar caso notasse a diferença de registro entre os diferentes diâmetros , sua causa não tem relação quanto ao possível motivo citado, não é possível retirar conclusões em relação as diferentes distancias do sensor em relação a broca.



Figura 8.10. Diferentes distâncias do sensor de leitura de vibração à broca com níveis de alta vibração



Figura 8.11. Diferentes distâncias do sensor de leitura de vibração à broca com níveis de baixa vibração







Figura 8.13 Influência da distância do sensor à broca em relação a leituras de torque somente para a fase de 12 1/4"

FASE	MÉDIA PONDERADA TORQUE	MÉDIA PONDERADA DISTÂNCIA DO SENSOR À BROCA	
8 1/2"	6,55 KLBS.PÉ	10,17 METROS	
12 1/4"	16,02 KLBS.PE	15,01 METROS	

Tabela 8.2 Torque e distância do sensor à broca ambos média ponderada por fase