



## SELEÇÃO DE BROCAS DE PERFURAÇÃO COM USO DE BASE DE DADOS E DE CONHECIMENTO ESPECIALISTA

**José Ricardo Pelaquim Mendes\***

**Celso Kazuyuki Morooka\***

**Marco Antônio Victorino Ribeiro da Penha\*\***

\*UNICAMP, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Eng. de Petróleo  
Cx. P. 6122, CEP 13083-970 – Campinas, SP, Brasil

\*\*PETROBRAS, E&P – Bacia de Campos/GENPO  
Praia de Imbetiba, CEP 27913-350, Macaé, RJ, Brasil

**Resumo.** A correta seleção da broca é uma tarefa importante para se obter um bom desempenho na operação de perfuração. Esta seleção está frequentemente baseada na base de dados de brocas de perfuração e no conhecimento especialista do engenheiro de perfuração. O presente trabalho inicia com uma breve revisão dos métodos de seleção de brocas encontrados na literatura. Em seguida, faz-se uma descrição da proposição do presente trabalho que é como estruturar e organizar um banco de dados de perfuração e uma base de conhecimento que servirá no processo de seleção de brocas de perfuração. O procedimento proposto foi implementado em um sistema de computador, para brocas do tipo tricônicas. Dados de perfuração de três diferentes bacias sedimentares brasileiras com vários poços perfurados e o conhecimento de engenheiros de perfuração que trabalham em diferentes campos foram respectivamente coletados na forma eletrônica e através de entrevistas para serem utilizadas na presente pesquisa. O presente processo de escolha mostrou um bom desempenho de acordo com os testes realizados. O sistema é útil na manutenção e preservação da experiência acumulada por especialistas numa companhia e para treinamento de novos engenheiros de perfuração.

**Palavras-chave:** Perfuração de Poços, Escolha de Brocas, Sistema Inteligente, Base de Conhecimentos

### 1. INTRODUÇÃO

O objetivo da perfuração de poços de petróleo é estabelecer um canal de comunicação entre a rocha reservatório e a superfície, possibilitando-se assim a descoberta de novas reservas bem como a produção de óleo e de gás. Os poços de petróleo podem atingir grandes profundidades em função da localização do reservatório almejado e, por motivos

operacionais um poço não é perfurado em apenas uma etapa. Portanto, a perfuração de um poço é realizado em diversas etapas e, a cada etapa denominadas fases, o diâmetro vai se diminuindo em relação à anterior, caracterizado pelo diâmetro da broca utilizada para a fase.

Várias brocas são necessárias para a perfuração de cada fase e, o custo da perfuração está diretamente relacionado com a escolha adequada da broca e o rendimento destas na operação de perfuração. A análise do rendimento das brocas utilizadas é normalmente realizado por um especialista em perfuração analisando-se caso a caso e, portanto este conhecimento vai se acumulando no tempo.

Existe na literatura métodos analíticos, Dernbach (1982), Mason (1987), Rabia (1992), para seleção das brocas para perfuração. Entretanto, sua aplicação acaba-se transformando em uma tarefa árdua, devido principalmente à dificuldade na obtenção dos parâmetros necessários para utilização destes métodos tais como: dureza e abrasividade das formações, propriedades do fluido de perfuração no fundo do poço, dados da direção dos poços, tamanho da broca entre vários outros.

O presente trabalho tem como principal objetivo a estruturação e a organização do conhecimento especializado no processo de seleção de brocas e a implementação deste conhecimento em computador para auxiliar o especialista nesta atividade. Para a estruturação e organização do conhecimento em brocas de perfuração, utilizou-se grafos de conhecimento, Rocha (1992). Como resultado adicional obtido, menciona-se a possibilidade de manutenção e de preservação do conhecimento em escolha de brocas e a utilização do sistema proposto em programas de treinamento de novos técnicos na área. Resultado de testes com dados reais de perfuração em campos de petróleo de três regiões distintas foram realizadas com sucesso.

## **2. METODOLOGIA ADOTADA**

### **2.1 Procedimento para Seleção de Brocas**

Vários métodos analíticos são disponíveis da literatura (Anexo I). Entretanto, estes métodos nem sempre são amplamente aplicados no campo, pois demandam informações nem sempre disponíveis do ponto de vista prático. Assim sendo, o especialista muitas vezes utiliza-se de seu conhecimento prático baseado na sua experiência profissional e informações disponíveis, para se elaborar o plano de brocas para um determinado poço de maneira mais rápida e barata.

O procedimento de seleção de broca adotado no presente trabalho é portanto, aquele baseado na experiência prática do especialista de perfuração. Neste caso, a seleção de brocas de perfuração se faz utilizando-se principalmente a correlação de poços, ou seja, dados de poços perfurados anteriormente subsidiam o processo de escolha de broca para um novo poço a ser perfurado, denominado de poço projeto. Esta correlação é feita através da análise dos dados de registros de brocas utilizadas nos poços de correlação. E portanto, a primeira etapa no processo de seleção de brocas de perfuração é a identificação dos poços que apresentem melhor correlação com o poço projeto.

Após a seleção dos poços de correlação, o processo se divide em mais duas etapas. Na primeira, estuda-se o desgaste sofrido pelas brocas utilizadas nos poços de correlação para cada fase e na segunda, considera-se o restante dos parâmetros relevantes para a seleção tais como a metragem perfurada, a taxa de penetração da broca, o custo e idade da broca.

## 2.2 Sistema Inteligente

O sistema inteligente proposto tem por finalidade dar a orientação necessária ao técnico especialista na elaboração de um plano de brocas para a perfuração de um poço projeto, isto é, auxilia o engenheiro de perfuração recomendando um plano de brocas para ser utilizado em um dado poço baseado no desempenho de brocas utilizadas em outros poços. Este sistema identifica os poços de correlação e faz a análise do desempenho das brocas utilizadas nestes poços, subsidiando-se assim o processo de escolha de brocas. As principais partes do sistema são a base de conhecimento e a máquina de inferência. A base de conhecimento reúne todo o conhecimento especialista para a escolha de broca enquanto que a máquina de inferência é a implementação com as inferências lógicas necessárias para o sistema. O sistema dispõe também da base de dados de perfuração com informação de dados de poços e brocas. A Figura 1 mostra esquematicamente a arquitetura do sistema proposto.

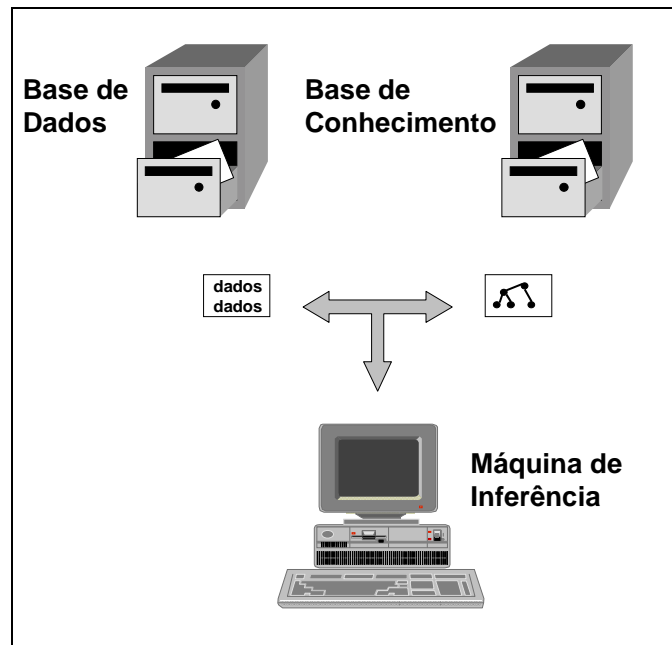


Figura 1- Arquitetura do Sistema

**Base de Dados.** A base de dados contém informações relevantes das atividades realizadas até o momento, ou seja, informações sobre o desempenho de brocas selecionadas em outros poços já perfurados, assim como a identificação destes poços. Pode-se assim selecionar os poços que melhor se correlacionem com o poço projeto. Logo, esta base de dados contém informações que serão utilizadas como dados de entrada para o conhecimento especializado realizar o raciocínio necessário para a escolha da broca.

- A base de dados está estruturada conforme os seguintes módulos:
- banco de dados sobre brocas, com informações de diâmetro, código IADC, custo, modelo, fábrica das brocas existentes no mercado;
  - banco de dados sobre poços, com informações de nome do poço, campo a que pertence, sonda, lâmina d'água, ano em que foi perfurado, registro de brocas utilizadas e formações perfuradas;
  - banco de dados de projetos, com informações dos poços que serão perfurados.

**Base de Conhecimento.** A aquisição dos elementos necessários para a elaboração da base de conhecimento foi feita por meio de entrevistas com especialistas em perfuração de poços. Para estruturação deste conhecimento e sua organização foi utilizada grafos de conhecimento (Rocha, 1992). Fez-se a implementação deste conhecimento em computador de forma a poder realizar acesso rápido e seletivo (inteligente) do conhecimento para seu processamento para as decisões necessárias no processo de escolha de broca (Mendes, 1998). Os grafos de conhecimento estão organizados em três duas partes. A primeira, Grafo de Correlação, permite a identificação dos poços de correlação (Figura 2). A segunda, Grafo de Desgaste, contém o raciocínio para análise do desgaste sofrido pelas brocas(Figura 3). E, finalmente a terceira, Grafo de Escolha de Broca, faz efetivamente a recomendação ou não da broca para o poço projeto (Figura 4).

O processo de raciocínio (grafos) foi implementado em computador (máquina de inferência) juntamente com as bases de dados e conhecimento, para auxílio na escolha de brocas de perfuração.

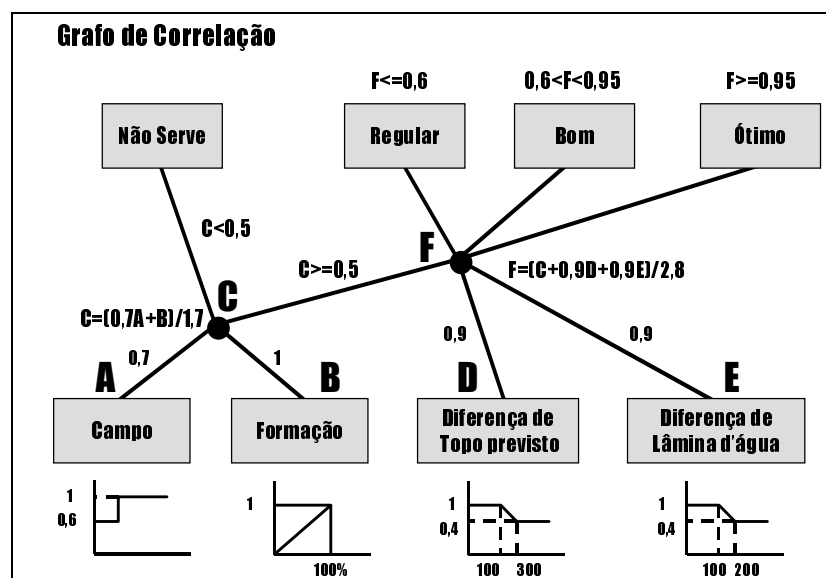


Figura 2- Grafo para escolha dos poços de correlação

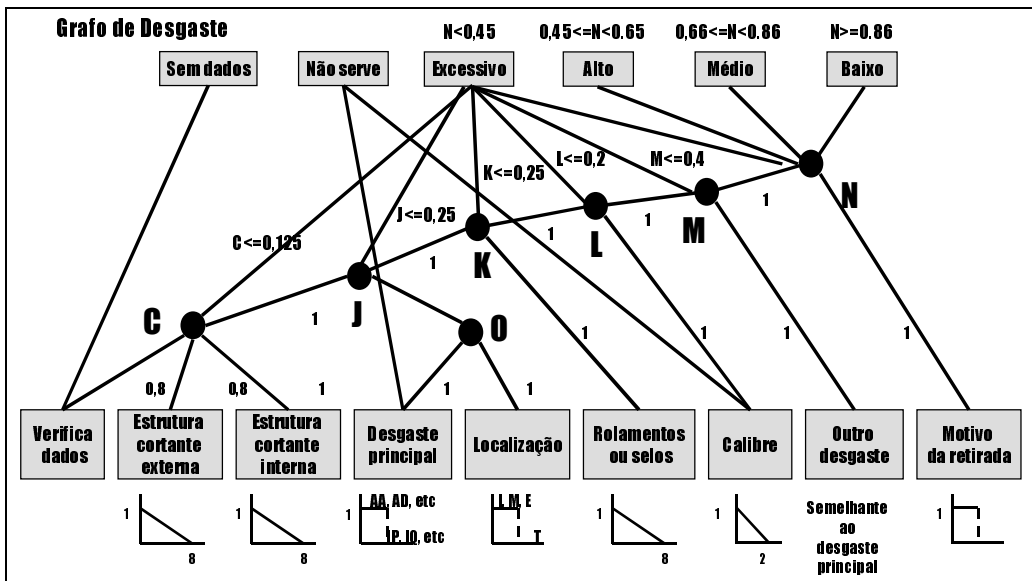


Figura 3- Grafo para a análise de desgaste

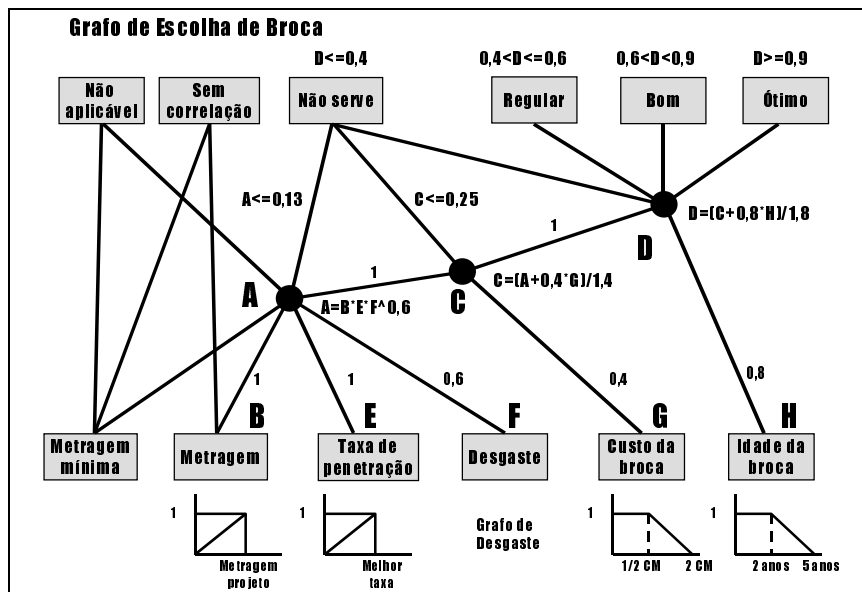


Figura 4- Grafo para escolha de brocas

### 3. RESULTADOS

O sistema desenvolvido foi testado para poços reais em três diferentes regiões de produção petróleo no País. Entretanto, os nomes dos campos e poços referenciados no presente trabalho estão indicados de maneira fictícia.

Os campos relacionados para conduzir os testes são os campos de Dourado, Cascudo e Lambari. Para cada campo, escolheu-se um poço (já perfurado) como poço projeto, dentre os diversos poços selecionados para servir de correlação. O sistema sugere como resultado, um plano de brocas para este poço projeto. Este plano de brocas obtido através do sistema é

comparado com o plano de brocas efetivamente realizado para este poço com o intuito de avaliar o desempenho do sistema inteligente.

**Campo de Dourado.** No campo de Dourado foram selecionados 7 poços terrestres sendo o sexto (DRO 6), o escolhido como sendo o poço projeto. O Grafo de Correlação julgou os poços considerados nesta análise como sendo de boa correlação ao poço DRO 6.

Este poço é composto por três fases de perfuração, tendo cada fase os seguintes diâmetros: 17 ½, 12 ¼ e 8 ½ polegadas.

A broca IADC 111C para a fase de 17 ½ polegadas obteve 5 recomendações boas e 1 ótima, ou seja, o sistema após percorrer os três grafos de conhecimento pode classificar o desempenho da broca como sendo Regular, Bom ou Ótimo, vide Figura 4. Na fase de 12 ¼ polegadas a broca 517 obteve 6 recomendações boas. Como nestas duas fases só foram utilizadas estas duas brocas e elas não obtiveram nenhuma recomendação negativa, sugere-se a utilização da broca IADC 111C para a fase de 17 ½ polegadas e a broca 517 para a fase de 12 ¼ polegadas.

Para a fase de 8 ½ polegadas a broca 517 obteve 4 recomendações boas, 1 regular e 1 não serve e a broca 527 obteve 2 boas. O sistema julgou a 517 a mais confiável.

Resumindo foram sugeridas as brocas IADC 111C para a fase de 17 ½ polegadas e 517 para a fase de 12 ¼ e 8 ½ polegadas. A Tabela 1 mostra o quadro de brocas utilizadas, ou seja, as brocas que efetivamente foram utilizadas no poço projeto (DRO 6) na sua perfuração

Tabela 1. Quadro de brocas utilizadas no poço projeto (DRO 6)

Diâmetro (pol)	Entrada (m)	Desgaste	Metragem (m)	Penetração (m/h)	IADC	IADC Recomendado
17 1/2	0		592	33,8	111C	111C
17 1/2	592		396	11,6	111C	111C
12 1/4	978	44AATE1NCPF	526	5,5	517	517
8 1/2	1504	33CETE2RRTF	196	5,6	517	517
8 1/2	1700	44CATF2IDTP	337	5,3	517	517
8 1/2	2037	55IDT32CATP	73	2,6	537	517
8 1/2	2110		107	4,7	517	517

Verifica-se que as brocas sugeridas foram as utilizadas no poço projeto exceto a broca número 5U de código IADC 537 a qual foi retirada por taxa de penetração baixa.

**Campo de Lambari.** O Campo de Lambari é constituído de 8 poços marítimos sendo que o oitavo (LBR 8) foi escolhido como poço projeto para o presente teste. Este poço possui os seguintes diâmetros para cada fase de perfuração: 26, 14 ¾ e 8 ½ polegadas.

Os testes com o sistema resultou em brocas IADC 111 para a fase de 26 polegadas. Observa-se que para esta fase, a seleção da broca não é crítica devido a inconsolidação da formação de rochas perfuradas. Para a fase de 14 ¾ polegadas tem-se como resultado as brocas IADC 114C. Esta broca obteve quatro recomendações boas e uma ótima. E finalmente, a fase de 8 ½ polegadas a broca de IADC 447 resultou como a indicada com oito recomendações boas.

A seguir é mostrado o quadro de brocas utilizado no poço projeto (LBR 8).

Tabela 2. Quadro de brocas utilizadas no poço projeto (LBR 8)

Diâmetro (pol)	Entrada (m)	Desgaste	Metragem (m)	Penetração (m/h)	IADC	IADC Recomendado
26	1058		357	35,7	111	111
14 3/4	1415	22IDTE0NCPF	1015	22,1	114C	114C
8 1/2	2430	1IDTE0RRTE	110	18,3	447	447
8 15/32	2540		5	0,6	COROA	447
8 1/2	2545	11IDTE0RRTE	10	10	447	447
8 15/32	2555		9	0,3	COROA	447
8 1/2	2564	11IDTE0RRTE	9	1,6	447	447
8 1/2	2573	11IQME0RRTE	145	10,4	447	447
8 15/32	2718		7	0,9	COROA	447
8 15/32	2725		5	0,9	COROA	447
8 15/32	2730		7	0,5	COROA	447
8 1/2	2737	22IQMENCPF	391	8,1	447	447

Verifica-se que as brocas sugeridas foram as utilizadas no poço projeto.

**Campo de Cascudo.** No campo de Cascudo foram selecionados 4 poços marítimos, sendo que o quarto poço foi escolhido como sendo o poço de projeto (CSD 4). Este poço é constituído pelas seguintes fases: 26, 16, 12 ¼ e 8 ½ polegadas. A análise realizada pelo Grafo de Correlação considerou os poços selecionados como de boa correlação com poço projeto.

Para a fase de 26 polegadas, o sistema indicou como a broca mais adequada a IADC 111. As brocas IADC 115 e 115M para a fase de 16 polegadas são igualmente recomendadas. No entanto para a fase de 12 ¼ polegadas o número de opções como brocas recomendadas aumenta (116, 116C, 117M, 517 e 111), sendo a 111 a broca menos recomendada. Para a fase de 8 ½ polegadas, as brocas indicadas foram do tipo IADC 517.

Na Tabela 3 apresenta-se o quadro de brocas utilizadas no poço projeto. Verifica-se que na fase de 8 ½ polegadas foram usadas brocas de código 116M. Nos poços de correlação esta broca não foi utilizada nesta fase, sendo assim não foi possível avaliar seu desempenho e indicá-la ou não para o poço projeto. Nas demais fases, as brocas usadas estão de acordo com as indicadas pelo sistema.

Tabela 3. Quadro de brocas utilizadas no poço projeto (CSD 4)

Diâmetro (pol)	Entrada (m)	Desgaste	Metragem (m)	Penetração (m/h)	IADC	IADC Recomendado
26	1242		44		111	111
26	1286		410		111	111
16	1696	00NCT00RRRS	158	21	115M	115M
16	1854	22AAE0RRPF	497	14	115M	115M
12 1/4	2351	11IDT11NCMB	192	13,2	117M	117M
8 1/2	2543	11IDTE0RRTF	41	5,1	116M	517
8 15/32	1584		9	0,8	COROA	517
8 1/2	2593	12IDEE0RRTE	210	8	116M	517
8 15/32	2803		9	0,9	COROA	517
8 1/2	2812		0	0	116M	517
8 15/32	2812		2	1,3	COROA	517
8 15/32	2814		7	0,8	COROA	517
8 15/32	2821		9	1,2	COROA	517
8 15/32	2830		5	1	COROA	517
8 15/32	2835		9	1,2	COROA	517
8 15/32	2844		5	0,5	COROA	517

Os testes realizados com dados reais de três campos em regiões distintas de produção de petróleo no país, possibilitou a verificação do desempenho do sistema inteligente. Estes resultados mostram que o conhecimento obtido para escolha de brocas tricônicas não é regional. Verifica-se que este conhecimento baseado numa metodologia de escolha de brocas construída através da experiência de especialistas é válida para quaisquer região de produção. Para tanto, é fundamental que se tenha dados adequados para poços de correlação.

O presente sistema, representa uma mimetização do julgamento do especialista e, muitas vezes resulta nas mesmas escolhas deste especialista e não necessariamente escolhe a melhor broca. Portanto, existe um processo de preservação do conhecimento especializado no processo de seleção. Embora o sistema necessite de mais testes e aprimoramentos em termos de conhecimento utilizado, verifica-se que a metodologia utilizada e a implementação realizada é bastante adequada para a escolha de brocas na perfuração.

#### **4. CONCLUSÕES**

O presente estudo permitiu verificar que o uso de Grafos de Conhecimento é adequado para explicitar o conhecimento especialista do processo de seleção de brocas. A descrição do conhecimento desta forma para se proceder à escolha de brocas de perfuração possibilita fácil visualização de todo conhecimento necessário para decisão de escolha, assim como apresenta também facilidades para transmissão deste conhecimento a outros membros de uma equipe de perfuração. Possibilita também fácil atualização do conhecimento na área.

O sistema inteligente implementado tem objetivo de ser ferramenta de auxílio ao especialista no processo de seleção de brocas e ser utilizado em programas de treinamento de novos especialistas. Pode-se obter uma melhor compreensão de todo o processo de seleção de brocas tricônicas possibilitando explicitar fatores, dados relevantes e raciocínio empregado na metodologia de seleção de brocas de perfuração.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem o apoio da Capes e MCT/Pronex na realização desta pesquisa. Estende-se os agradecimentos à Petrobras pelo apoio e ao Eng. Kazuo Miura pela motivação dada à realização do presente estudo.

#### **REFERÊNCIAS**

- DERNBACH, L., A. 1982, Sonic-Gama Ray Analysis Improves Bit Selection. Oil & Gas Journal, 14 June p. 90-101.
- DUMANS, C. F. F. Método Associativo para Escolha de Brocas Tricônicas e Brocas de Diamante Policristalino. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Petróleo, Unicamp, 1990, 163p. Tese de Mestrado.
- MASON, K. L., 1987, Tricone Bit Selection Using Sonic Logs. SPE 13256 Drilling Engineering, June, p. 135-142.



- MENDES, J. R. P., 1998, O Uso de Conhecimento Especialista e de Base de Dados na Seleção de Brocas de Perfuração. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Petróleo, Unicamp, 104p. Tese de Mestrado.
- OHARA, S. Método de Escolha do Tipo de Broca e Seleção do Peso sobre Broca e Velocidade de Rotação na Perfuração com Mínimo Custo. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Petróleo, Unicamp, 1989, 179p. Tese de Mestrado.
- RABIA H., 1992, A New Approach to Drill Bit Selection. SPE 15894 Drilling Engineering.
- ROCHA, A. F., 1992, Neural Nets: A Theory for Brains and Machines. Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag.

## ANEXO I - MÉTODOS DE SELEÇÃO DE BROCAS

**Método de Dernbach.** Dernbach (1989) propôs um método para seleção de brocas tricônicas com o auxílio do perfil sônico (porosidade total) e do *gama-ray* (índice de argilosidade). Dividiu-se as rochas em 3 grupos: folhelho, arenito e carbonatos (calcáreo, dolomita, anidrita ou suas combinações). A seleção da broca é realizada em função da porosidade, tempo de trânsito e litologia. A Tabela 4 é a tabela proposta por Dernbach para escolha de brocas de perfuração.

Tabela 4. Relação entre a leitura do perfil sônico, argilosidade e litologia com o código IADC de brocas tricônicas apresentada por Dernbach.

Leitura do sônico ( $\mu$ seg/pé)	Tipo de broca (IADC)	Argilosidade Litologia
65-70 70-75 72-85 75-80+	2 1 1 3 1 2 1 1	Formações superficiais argilosas e/ou pouco consolidadas
80+ 75+ 70+ 65+ 60-65 55-60	5 1 5 3 6 1 6 3 7 3 & 3 1 8 3 & 3 4	0-20%
70+ 65+ 60+ 60	5 1 5 3 6 1 6 3	20-30%
65+ 60+	5 1 5 3	30-40%
47-65 58-65 65+	6 3 6 1 5 3	calcáreo dolomita

**Método de Mason.** Mason (1987) baseado em estudos experimentais correlacionou a tensão de compressão da rocha com o tempo de trânsito cisalhante. Este tempo de trânsito cisalhante sendo calculado a partir do tempo de trânsito compressional obtido do perfil sônico. Em seus estudos foi mostrado que formações diferentes podem ter o mesmo tempo de trânsito compressional, mas são melhores perfuradas com brocas diferentes. Portanto, a utilização do tempo de trânsito compressional requer o desenvolvimento do método para cada tipo de broca ou combinações litológicas. Logo, Mason propôs utilizar o tempo de

trânsito cisalhante estimado a partir do tempo de trânsito compressional para evitar o efeito da litologia. Ao final do seu trabalho Mason apresentou um gráfico correlacionando o tempo de trânsito cisalhante em função do tempo de trânsito do fluido contido nos poros da formação, com retas de resistência a compressão, dividindo os vários códigos IADC da broca recomendada conforme Figura 5.

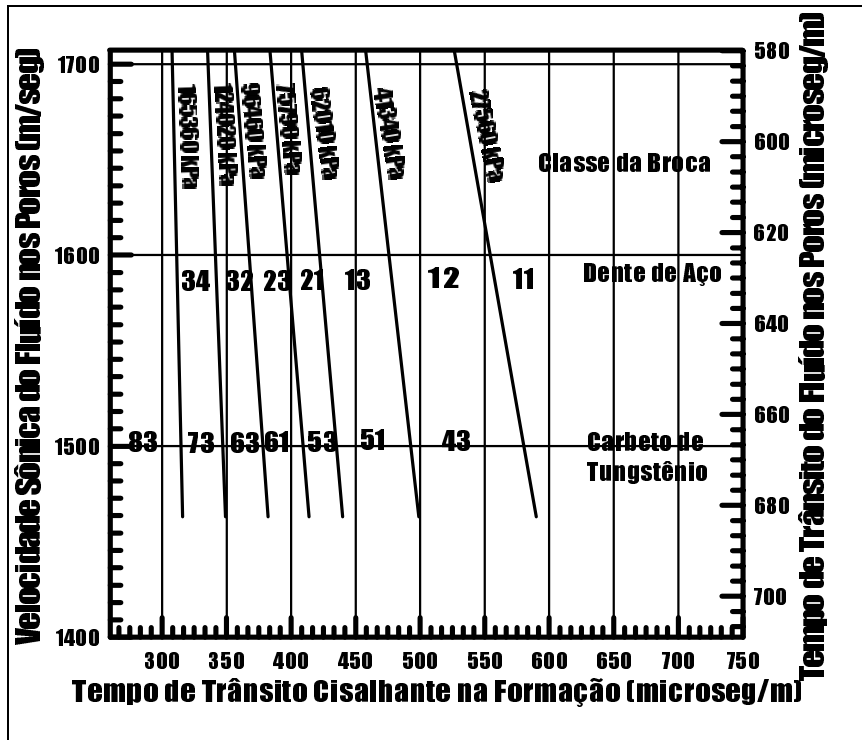


Figura 5- Guia universal para seleção de brocas tricônicas, Mason (1987)

Ohara (1989) também adotou a proposta de Mason (1987) associada a um modelo de perfuração para fazer a escolha da broca de perfuração.

Posteriormente Dumans (1990) adaptou o método de Mason (1987) para o Brasil, mais especificamente para as áreas de Tubarão (Bacia de Santos) e Bacia de Campos.

**Método da Energia Específica.** Rabia (1985) propôs um método para seleção de brocas baseado no cálculo da Energia Específica. Com este método ele pode analisar o desempenho da broca evitando fatores não relacionados com seu desempenho, tais como tempo de manobra, custo horário da sonda, etc. O cálculo da Energia Específica foi adaptado pelo autor ao mecanismo de corte das brocas de rolamento. Sua definição: energia necessária para remover um volume unitário de rocha. Após a utilização do método em poços nos Emirados Árabes e no Mar do Norte, concluiu-se que a energia específica pode ser usada como medida do desempenho da broca e é compatível com o custo métrico