

ANÁLISE DE DEPÓSITOS DE ORIGEM HÍDRICA EM TUBULAÇÕES E CALDEIRAS

Método

CONTEC

Comissão de Normas
Técnicas

SC - 20

Técnicas Analíticas
de Laboratório

Cabe à CONTEC - Subcomissão Autora, a orientação quanto à interpretação do texto desta Norma. O Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma é o responsável pela adoção e aplicação dos itens da mesma.

Requisito Mandatório: Prescrição estabelecida como a mais adequada e que deve ser utilizada estritamente em conformidade com esta Norma. Uma eventual resolução de não segui-la ("não-conformidade" com esta Norma) deve ter fundamentos técnico-gerenciais e deve ser aprovada e registrada pelo Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma. É caracterizada pelos verbos: "dever", "ser", "exigir", "determinar" e outros verbos de caráter impositivo.

Prática Recomendada (não-mandatária): Prescrição que pode ser utilizada nas condições previstas por esta Norma, mas que admite (e adverte sobre) a possibilidade de alternativa (não escrita nesta Norma) mais adequada à aplicação específica. A alternativa adotada deve ser aprovada e registrada pelo Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma. É caracterizada pelos verbos: "recomendar", "poder", "sugerir" e "aconselhar" (verbos de caráter não-impositivo). É indicada pela expressão: **[Prática Recomendada]**.

Cópias dos registros das "não-conformidades" com esta Norma, que possam contribuir para o aprimoramento da mesma, devem ser enviadas para a CONTEC - Subcomissão Autora.

As propostas para revisão desta Norma devem ser enviadas à CONTEC - Subcomissão Autora, indicando a sua identificação alfanumérica e revisão, o item a ser revisado, a proposta de redação e a justificativa técnico-econômica. As propostas são apreciadas durante os trabalhos para alteração desta Norma.

"A presente Norma é titularidade exclusiva da PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS, de uso interno na Companhia, e qualquer reprodução para utilização ou divulgação externa, sem a prévia e expressa autorização da titular, importa em ato ilícito nos termos da legislação pertinente, através da qual serão imputadas as responsabilidades cabíveis. A circulação externa será regulada mediante cláusula própria de Sigilo e Confidencialidade, nos termos do direito intelectual e propriedade industrial."

Apresentação

As normas técnicas PETROBRAS são elaboradas por Grupos de Trabalho – GTs (formados por especialistas da Companhia e das suas Subsidiárias), são comentadas pelos Representantes Locais (representantes das Unidades Industriais, Empreendimentos de Engenharia, Divisões Técnicas e Subsidiárias), são aprovadas pelas Subcomissões Autoras – SCs (formadas por técnicos de uma mesma especialidade, representando os Órgãos da Companhia e as Subsidiárias) e aprovadas pelo Plenário da CONTEC (formado pelos representantes das Superintendências dos Órgãos da Companhia e das suas Subsidiárias, usuários das normas). Uma norma técnica PETROBRAS está sujeita a revisão em qualquer tempo pela sua Subcomissão Autora e deve ser reanalisada a cada 5 (cinco) anos para ser revalidada, revisada ou cancelada. As normas técnicas PETROBRAS são elaboradas em conformidade com a norma PETROBRAS N -1. Para informações completas sobre as normas técnicas PETROBRAS, ver Catálogo de Normas Técnicas PETROBRAS.

ANÁLISE DE DEPÓSITOS DE ORIGEM HÍDRICA EM TUBULAÇÕES E CALDEIRAS

CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS

O conhecimento da composição química dos depósitos formados nas tubulações e caldeiras (1) pode propiciar valiosas informações, que permitirão aplicar tratamentos, tanto preventivos como corretivos, às águas usadas na indústria, evitando problemas e paradas dispendiosas.

Informações corretas são muito úteis, mas informações errôneas ou incompletas podem ser prejudiciais. A análise de incrustações de caldeiras e tubulações sempre preocupou os técnicos ligados ao assunto. Diversos métodos e procedimentos foram usados e os resultados obtidos apresentavam grande variação, devido à diferença de procedimentos e métodos usados pelos laboratórios. A fim de uniformizar o mais possível os procedimentos analíticos adotados, a ASTM delegou ao Comitê D-19 a incumbência de estabelecer esquema sistemático para o exame e análise das incrustações de caldeiras e tubulações.

Entretanto, uma análise completa, e que proporcione o máximo de informações possível, é muito trabalhosa, além de requerer uso de técnicas e aparelhagem normalmente não encontradas nos laboratórios de refinarias de petróleo.

Por outro lado, os resultados das análises são difíceis de ser explicados, e, em sua maioria, sujeitos a várias interpretações.

É necessário ter-se cuidado especial com os fosfatos, quase presentes em depósitos de caldeiras; geralmente interferem na separação e determinação de outros elementos.

Como último ponto, convém lembrar que pouco valor terão os resultados analíticos das incrustações, caso a amostragem das mesmas não for feita de modo adequado (2 e 3).

1 OBJETIVO

Os Métodos aqui descritos fixam o modo de se proceder à determinação de um ou mais constituintes dos componentes das incrustações de caldeiras e tubulações.

2 CAMPO DE APLICAÇÃO

Este Método descreve os procedimentos de preparação e da amostra para análise, sua solubilização e determinação de alumínio, cálcio e magnésio, carbonato, cobre, ferro, fosfato, e sílica e sulfato.

3 DEFINIÇÕES

Para os fins a que se propõe o Método são adotadas as seguintes definições ⁽⁴⁾:

3.1 Depósitos formado pelas águas

Qualquer acumulação de material insolúvel proveniente da água ou formado pela reação da água com as superfícies em contato (Nota).

Nota - Os depósitos provenientes da água, ou por ela formados, podem ser classificados como incrustação, sedimento, produtos de corrosão ou depósitos biológicos. A composição total de um depósito, ou de grande parte dele, pode ser determinada pela análise química ou espectrográfica; os constituintes presentes como substâncias podem ser identificados por microscopia ou difração de raios X. Organismos podem ser identificados por métodos microscópicos ou biológicos.

3.1.1 Incrustação

Depósito formado pela água, diretamente no local, sobre superfície definida. A incrustação geralmente conserva seu aspecto físico, quando retirada da superfície por meios mecânicos.

3.1.2 Sedimento (borra ou lama)

Depósito sedimentário formado pela água, que pode incluir todos os sólidos suspensos transportados por ela. Geralmente não conservam a forma física original quando retirados mecanicamente das superfícies.

3.1.3 Produtos de corrosão

Produtos formados pelas reações químicas ou eletroquímicas entre o metal e o meio em que se encontra. Produto de corrosão, resultante da ação da água, como, por exemplo, a ferrugem, que geralmente consiste de material insolúvel depositado sobre a área corroída, ou perto dela. Entretanto, algumas vezes os produtos de corrosão podem-se encontrar depositados a grandes distâncias do ponto onde o metal está sendo corroído.

3.1.4 Depósitos biológicos

Depósitos formados por organismos, ou os produtos de seus processos biológicos. Podem-se compor de organismos microscópicos, como nos limos, ou de organismos macroscópicos, tais como cracas e moluscos.

4 REAGENTES

Todos os reagentes serão de grau p.a., e qualquer referência a água se entenderá como água reagente dos tipos 1 a 3, de acordo com a Norma [N-1351](#).

5 AMOSTRAGEM

A coleta da amostra deverá ser feita de acordo com o método ASTM D-887⁽⁵⁾.

6 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA ANALÍTICA

6.1 Exame preliminar da amostra

Examinar a estrutura da amostra coletada, usando microscópio, se houver algum disponível; observar a cor, cheiro, material oleoso, aparência do licor-mãe, quando existir, e outras características importantes (como, por exemplo, atração ao ímã) e anotar os resultados para referência futura.

6.2 Filtração da amostra (Nota)

Se a amostra contiver quantidade apreciável de água separada, remover o material sólido, por filtração.

Guardar o filtrado sem diluí-lo, para futura análise química, caso seja necessário. Transferir toda a parte sólida para o filtro, usando o filtrado para lavar o recipiente da amostra, se for preciso. Secagem parcial ou total do filtro, ao ar, é muitas vezes útil, para separação do depósito.

Nota - Se a amostra contiver matéria oleosa visível, é necessário extraí-la com solvente (Ver item 6.5), antes de se proceder à filtração ou secagem ao ar.

6.3 Secagem ao ar

Remover do filtro a amostra sólida, tomando cuidado para evitar contaminação com o papel de filtro. Espalhar todo o sólido em camada sobre superfície inerte e impermeável. A perda de peso durante a secagem ao ar é um dado frequentemente útil.

6.4 Partição da amostra

Muitas amostras são manifestamente heterogêneas. Quando for útil para explicar a ocorrência das incrustações, separar as camadas ou componentes bem definidos e calcular as porcentagens relativas aproximadas. Guardar as porções individuais secadas ao ar, preferivelmente em dessecador sobre dessecante eficiente, como a anidrita, para análises em separado.

6.5 Extração com solvente

Esta etapa só é essencial quando a amostra secada ao ar se apresenta untuosa, ou se aglomera quando se tenta pulverizá-la (untuosidade causada por grafite é possível, porém rara em incrustações). Para remover matéria solúvel em clorofórmio, pesar no máximo 10 g de amostra secada ao ar e colocá-la, embrulhada, em papel de filtro de textura fina, em cartucho de Soxhlet preparado

(extraído e seco). É útil grampear o papel, para evitar que se abra. Pesar o cartucho, juntamente com seu conteúdo, e proceder à extração, em aparelho de Soxhlet, até que o solvente (clorofórmio) se torne incolor na câmara de extração. Anotar a perda de peso do cartucho e seu conteúdo, secados a 105°C, como matéria solúvel em clorofórmio. Se for importante para a solução do problema, evaporar o solvente e examinar o resíduo. A extração pode ser repetida com outros solventes orgânicos voláteis, quando ensaios exploratórios aconselharem tal procedimento (tolueno, hexano, etc.).

6.6 Pulverização

Se a amostra recebida estiver seca, secada ao ar ou secada ao ar e extraída, deverá ser pulverizada, para adequada homogeneidade. Triturar a amostra toda ou quantidade suficiente que seja representativa da amostra inteira, de modo a passar através de peneira número 100 (150 micra). Continuar a trituração até que todo o material, à exceção de fragmentos, tais como pedaços de fibra, madeira e metal, passe através da peneira.

6.6.1 Os fragmentos separados da amostra durante a trituração poderão ser identificados pelos métodos convencionais, se a informação for de interesse.

6.6.2 Misturar bem o material peneirado, agitando-o em recipiente fechado e seco, cheio, no máximo, até os dois terços. Transferir 5 a 10 g do material bem misturado para pesa-filtro: esta será a amostra analítica. A menos que as determinações devam ser feitas com base na amostra secada ao ar, secá-la a 105°C e guardar em dessecador.

7 ENSAIOS PRELIMINARES NA AMOSTRA ANALÍTICA

Esta seção resume métodos para o exame preliminar de amostra de incrustação. Um ou mais destes métodos poderá ser usado para detectar os elementos componentes da amostra, e se as concentrações forem altas, baixas ou traço, como um meio para se estabelecer o esquema das análises. Estes ensaios preliminares frequentemente fornecem importantes dados internos de definição dos problemas tecnológicos que originarem a ocorrência destas incrustações. Os métodos incluem espectrografia, espectrofotometria de absorção atômica, difração de raios X, fluorescência de raios X, microscopia e análise qualitativa convencional. Alguns destes métodos não estão ao alcance dos laboratórios de uma refinaria de petróleo e não serão aqui tratados. Os ensaios qualitativos, em macro ou microescala, deverão ser usados sempre que houver possibilidade, pois podem constituir-se em precioso meio para identificação de alguns componentes da amostra. Além disto, podem fornecer dados importantes para o esclarecimento de problemas técnicos associados à ocorrência desses depósitos. Por exemplo, efervescência, com ácidos de amostra secada ao ar, sugere a presença de carbonato, e o material conterá provavelmente ferro, se for atraído por ímã. É aconselhável incluir nos ensaios qualitativos os metais mais comumente encontrados nas incrustações, e também os íons-carbonato, sulfato, fosfato, sulfeto e sulfito.

8 SOLUBILIZAÇÃO DA AMOSTRA ANALÍTICA

Alguns ensaios realizados preliminarmente podem ter revelado a presença ou não de alguns elementos, e uma estimativa de suas concentrações. Grande número de determinações quantitativas poderá ser feito diretamente sobre a amostra obtida (ver item 6.6.2), por métodos especiais de extração, geralmente específicos de uma determinação particular e nela incluídos. Os procedimentos de solubilização de amostras de acordo com as necessidades são descritos a seguir.

8.1 Solubilização em ácido clorídrico

Este tratamento dissolverá as incrustações que não contenham porcentagem apreciável de compostos insolúveis, incluindo sulfato de cálcio, vários silicatos e alguns espinélios (aluminatos) mais refratários. O uso deste solvente é vantajoso, por não ser oxidante e não introduzir possíveis interferência de sulfato ou nitrato.

8.1.1 Reagentes

8.1.1.1 Ácido clorídrico concentrado ($d = 1,19 \text{ g/ml}$)

8.1.1.2 Ácido clorídrico (1 + 4)

Misturar 1 volume de ácido clorídrico concentrado com 4 volumes de água.

8.1.1.3 Ácido clorídrico (1 + 9)

Misturar 1 volume de ácido clorídrico concentrado com 9 volumes de água.

8.1.2 Pesar aproximadamente 0,5 g da amostra analítica (ver item 6.6.2), em béquer de 250 ml. Acrescentar 50 ml de HCl (1 + 4) e evaporar até a secura, em chapa aquecedora mantida em capela. Acrescentar 10 ml de HCl concentrado evaporar novamente até a secura. Acrescentar 10 ml de HCl (1 + 9), levar à fervura a filtrar através de papel de filtro quantitativo e textura média. Lavar o resíduo, juntar as águas de lavagem ao filtrado e diluir a volume conhecido. Usar alíquotas desta solução para as análises dos constituintes a serem determinados. Guardar o resíduo, para exame posterior.

8.2 Solubilização em mistura de ácido clorídrico e ácido nítrico

Este solvente é mais eficiente para eliminar matéria orgânica e dissolver componentes mais refratários, resistem ao ácido clorídrico, quando este estiver sozinho. Entretanto, o ácido nítrico pode interferir em alguns dos procedimentos analíticos posteriores, a menos que seja completamente eliminado, durante a etapa de desidratação.

8.2.1 Reagentes

8.2.1.1 Ácido clorídrico (1 + 1)

Misturar 1 volume de HCl concentrado com 1 volume de água.

8.2.1.2 Ácido nítrico concentrado ($d = 1,42 \text{ g/ml}$)

8.2.2 Adicionar 5 ml de ácido nítrico concentrado a cerca de 0,5 g da amostra analítica, pesada em béquer de 250 ml, e evaporar, até quase a secura, sobre chapa aquecedora, mantida em capela. Adicionar 50 ml de HCl (1 + 1) e 5 ml de HNO₃ concentrado e repetir a evaporação. Deixar o béquer esfriar e adicionar 50 ml de HCl (1 + 1); ferver, até reduzir o volume a aproximadamente 25 ml, e filtrar através de papel de filtro quantitativo, de textura média. Lavar o resíduo, juntar as águas de lavagem ao filtrado e elevar a volume conhecido. Usar alíquotas deste volume para análises dos constituintes a serem determinados.

8.3 Solubilização em mistura de ácidos sulfúrico, fluorídrico e nítrico

Os reagentes do item 8.3.1 são considerados bons solventes universais, para incrustações que contêm sílica. Quando houver presença de sulfato sua determinação será feita em outra alíquota de amostra.

8.3.1 Reagentes

8.3.1.1 Ácido fluorídrico, HF (48 a 51 %) - (CUIDADO)

8.3.1.2 Ácido nítrico concentrado, HNO₃ (d = 1,42 g/ml)

8.3.1.3 Ácido sulfúrio (1 + 1)

Misturar cuidadosamente 1 volume de ácido sulfúrico concentrado (d = 1,84 g/ml) com 1 volume de água.

8.3.2 Adicionar 3 ml de ácido sulfúrico (1 + 1) e 10 ml de ácido Fluorídrico a aproximadamente 0,5 g da amostra analítica (ver item 6.6.2), em cadinho de platina de 30 ml, fazendo todas as operações em capela. Evaporar, até volatilizar a maior parte do ácido fluorídrico, adicionar 1 ml de ácido nítrico concentrado, e continuar aquecendo, até desprendimento de fumos intensos de trióxido de enxofre (SO₃); em seguida, esfriar o cadinho e o conteúdo. Adicionar, lenta e cuidadosamente, 15 ml de água, e digerir durante 1/2 hora. Transferir quantitativamente o conteúdo do cadinho para balão volumétrico de 250 ml, e completar o volume, quando frio. A quantidade de matéria insolúvel no balão pode ser ignorada, a menos que seja apreciável (bário, quando presente, formará sulfato de bário).

8.3.3 Se for necessário determinar metais alcalinos nesta porção solubilizada, deve-se retirar do frasco volumétrico quantidade suficiente para as determinações, e guardá-la em frasco plástico.

8.4 Fusão alcalina

Este Método de solubilização da amostra é particularmente útil para determinação rápidas de sílica e alumínio.

8.4.1 Reagentes

8.4.1.1 Ácido clorídrico (1 + 1)

Misturar volume de HCl concentrado com um volume de água.

8.4.1.2 Hidróxido de sódio (não guardar em frasco de vidro)

8.4.2 Colocar cerca de 1,5 g de hidróxido de sódio (cerca de 9 lentilhas) em cadinho de níquel de 75 ml e aquecê-lo lentamente sobre bico de bôquer, até fundir o hidróxido. Deixar o cadinho com o conteúdo esfriar à temperatura ambiente. Pesar 0,05 g da amostra analítica (ver item 6.6.2) e transferi-la para o cadinho que contém o hidróxido de sódio. Reaquecer o cadinho, para tornar a fundir o hidróxido, e agitar, para misturar pesado; usar fio de níquel ou bastão, para completar a mistura, e continuar o aquecimento por 3 minutos após estar misturado, deixando em seguida esfriar o material fundido.

Adicionar 50 ml de água ao cadinho, agitando ocasionalmente, até desintegrar por completo o material fundido (cerca de 1 hora). Transferir para balão volumétrico de 1 litro (previamente lavado com HCl (1 + 1) contendo 400 ml de água de HCl (1 + 1) (usar funil de plástico com haste de pelo menos 150 mm, para evitar que o extrato fortemente alcalino entre em contato com o vidro). Esfregar com bastão com protetor de borracha e lavar o cadinho, para garantir completa transferência; avolumar com água e guardar em frasco plástico.

9 DETERMINAÇÃO DE ALUMÍNIO

9.1 Campo de aplicação

Este Método se aplica à determinação de alumínio em incrustações de caldeiras e tubulações, no intervalo de 0 a 35 %, como alumina (Al_2O_3).

9.2 Resumo

A alumina, extraída da amostra analítica com hidróxido de sódio fundido, é determinada colorimetricamente, pela cor do complexo vermelho de alizarina-S de cálcio e alumínio.

9.3 Interferências

9.3.1 Quantidades apreciáveis de ferro e titânio também formam complexos coloridos, que absorvem luz em 490 nm, comprimento de onda usado para medir a absorbância do complexo de alumínio.

9.3.2 A interferência do ferro é eliminada pelo ferricianeto de potássio e ácido tioglicólico, que, juntos, formam complexo incolor (em 490 nm) com o ferro.

9.3.3 A tabela I, empírica (ver item 9.8.5), pode ser usada para corrigir a interferência de quantidades apreciáveis de titânio. Ela mostra que a interferência do titânio torna-se menos pronunciada com o aumento do conteúdo de alumínio.

9.4 Aparelhagem

9.4.1 Fotômetro de filtro ou espectrofotômetro, que permita medidas em comprimento de onda de 490 nm.

9.5 Reagentes

9.5.1 Solução de vermelho de alizarina-S (Nota) - (0,5 g/litro)

Dissolver 0,5 g de vermelho de alizarina-S em água e diluir a 1 litro; filtrar e guardar.

Nota - Vermelho de alizarina-S é o sal sódico do ácido 3 - alizarin sulfônio - $(C_6H_4COC_6H(OH)_2(SO_3Na)CO)$ - Índice de cor (CI) 58005.

9.5.2 Solução de cloreto de cálcio (1,5 g/litro)

Colocar 7 g de carbonato ($CaCO_3$) em béquer de 250 ml. Acrescentar cerca de 100 ml de água e 15 ml de HCl concentrado; aquecer até a ebulição e deixar em ebulição por vários minutos. Esfriar à temperatura ambiente e diluir a 500 ml com água.

9.5.3 Solução de cloridrato de hidroxilamina (100 g/litro)

Dissolver 100 g de cloridrato de hidroxilamina ($NH_2OH \cdot HCl$) em água e diluir a 1 litro.

9.5.4 Solução de ferricianeto de potássio (8,5 g/litro)

Dissolver 0,85 g de ferricianeto de potássio - $K_3 [Fe (CN)_6]$ - em água e diluir a 100 ml. Preparar imediatamente antes de usar; não estocar a solução.

9.5.5 Solução-tampão de acetato de sódio (pH = 4,9)

Dissolver 100 g de acetato de sódio - $NaC_2H_3O_2 \cdot 3H_2O$ - em cerca de 300 ml de água; adicionar 30 ml de ácido acético glacial e diluir a 500 ml, com água.

9.5.6 Solução de ácido tioglicólico (40 g/litro)

Dissolver o ácido tioglicólico - $HSCH_2COOH$ - em água, para preparar a quantidade necessária, na proporção de 1 g de ácido tioglicólico para 25 ml de solução; esta solução deve ser preparada no dia de uso.

9.6 Calibração

9.6.1 Não é necessária a curva de calibração. Há uma relação linear entre a absorvância e a concentração no intervalo de 0 a 35 % de óxido de alumínio - Al_2O_3 -, região em que são feitas as determinações de alumínio.

9.6.2 Deve ser determinado o fator de correção toda vez que for analisada amostra desconhecida, usando-se para tanto a análise em paralelo do padrão. "Diabase W-1", que contém 15,1 % de Al_2O_3 (produto do U.S. Geological Survey), ou equivalente.

9.7 Execução

9.7.1 Preparar a amostra, um ou dois padrões e o branco dos reagentes para a colorimetria. Solubilizar a amostra analítica (ver item 6.6.2), preparando a solução para análise, usando o método da fusão alcalina (ver item 8.4). Repetir, usando a mesma quantidade (0,05 g) de padrão (Diabase W-1) no lugar da amostra; esta solução pode ser guardada em frasco de plástico.

9.7.1.1 Repetir o processo de solubilização, usando apenas os reagentes, omitindo a amostra ou o padrão, para preparar a solução de compensação do branco dos reagentes.

9.7.1.2 Se alguma das soluções preparadas estiver turva, deixar depositar os sólidos. Se persistir a turbidez, filtrar em papel de filtro de porosidade fina, lavado duas vezes com ácido.

9.7.2 Transferir 15 ml de cada solução límpida (ver item 9.7.1) para balão volumétrico de 100 ml. Usar volume menor, 10 ml, da solução preparada da amostra se se esperar teor de alumina superior a 24 %; usar o branco dos reagentes, para completar o volume de 15 ml, de modo que todas as soluções sejam semelhantes em alcalinidade e concentração de sais inertes.

9.7.3 Colocar 2 ml da solução de CaCl_2 em cada balão. Adicionar 1 ml da solução de cloridrato de hidroxilamina a cada balão e misturar.

9.7.4 Juntar 1 ml de solução de ferricianeto de potássio a cada balão e misturar. Adicionar 2 ml de solução de ácido tioglicólico a cada balão, misturar e deixar em repouso por 5 minutos.

9.7.5 Usando proveta, adicionar a cada balão 10 ml da solução-tampão, misturar e deixar em repouso por 10 minutos. O pH da solução em cada balão deve estar, neste ponto, em torno de 4,7 a 4,8.

9.7.6 Pipetar 10 ml da solução de vermelho de alizarina-S para cada balão e completar o volume com água. Misturar e deixar em repouso durante 45 a 75 minutos.

9.7.7 Determinar a absorvância ou porcentagem de transmitância das soluções desconhecidas e padrões dos balões a 490 nm, usando o branco dos reagentes como referência.

9.8 Cálculos

9.8.1 Se as leituras forem feitas na escala de transmitância, converter em absorvância por meio de gráfico ou usar a equação:

$A = 2 - \log T$, onde:

A = absorvância;

T = transmitância.

9.8.2 Calcular a constante de calibração pela relação:

$K_C = P \cdot M_P / A_P$, onde: