

Importância da determinação dos índices de incrustação e de corrosão de águas subterrâneas em sistemas de abastecimento: um caminho para o uso sustentável

Denise Aguena Uechi¹; Sandra Garcia Gabas²; Giancarlo Lastoria³

Resumo – O crescente aproveitamento das águas subterrâneas tem evoluído com a humanidade, que apesar da intensificação de pesquisas e normatização pertinentes a este, existem muitas lacunas que fragilizam a sua gestão e monitoramento devido à escassez de levantamentos hidroquímicos mais consistentes. Durante a exploração dos recursos hídricos subterrâneos, a água sofre alterações no momento que entra nos poços, podendo gerar corrosão e incrustação resultantes dos elementos dissolvidos na água que não são observadas de imediato, porém seu acúmulo ao longo do tempo causa problemas de redução da produção de água e alterações de sua qualidade. A alcalinidade é um parâmetro de análise de baixo custo laboratorial que integra o cálculo do pH de equilíbrio em métodos que determinam o potencial de corrosão e incrustação das águas e não se constitui como requisito de qualidade e enquadramento da águas subterrâneas. A inserção deste parâmetro em futuras revisões das normas auxiliaria na gestão de uso das águas subterrâneas, garantindo o uso de águas em qualidade e quantidade a custos menores de manutenção.

Palavras-Chave – manancial subterrâneo, hidrogeoquímica, enquadramento.

Importance of determining the rates of incrustation and corrosion of groundwater supply systems: a pathway for sustainable use

Abstract – The increasing use of groundwater has been evolving with humanity. Despite the intensification of research and standardization pertinent to this subject, there are many gaps that weaken its management and monitoring, due to the limited hydrochemical surveys. During the groundwater resources' exploitation, the water could be altered upon entering the wells, which can generate incrustation and corrosion resulting from dissolved components precipitation. Its buildup over time causes problems of reducing the production and changes in water quality. Alkalinity is a measure of inexpensive laboratory analysis that integrates the calculation of the equilibrium pH, which one is one of the parameters of corrosion and incrustation equations. Normally, alkalinity does not constitute a requirement for quality, and framework of groundwater. The inclusion of this parameter in future revisions of the standards would assist in the groundwater management, ensuring the use of water in quality and quantity at a lower cost of maintenance.

Keywords – underground source, hydrochemistry; framework

INTRODUÇÃO

A exploração de água subterrânea tem sido uma das alternativas para o abastecimento público no Brasil desde a década de 1960. Atualmente, o planejamento urbano e o desenvolvimento de muitas cidades brasileiras precisam considerar a dependência deste recurso, uma vez que segundo a

¹ Graduada em Engenharia Civil, Mestranda em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, CEP: 79070-900, Campo Grande - MS, e-mail: denise_uechi@hotmail.com.

² Doutora em Engenharia Civil pela Escola Politécnica - USP. Professora Adjunta da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, CEP: 79070-900, Campo Grande, MS. E-mail: sandra.gabas@ufms.br.

³ Doutor em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Professor Associado da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, CEP: 79070-900, Campo Grande, MS. E-mail: g.lastoria@ufms.br.

Agência Nacional das Águas (ANA, 2010), 37% das cidades brasileiras dependem exclusivamente dos mananciais subterrâneos para seu abastecimento.

Existem diversas vantagens em se utilizar as águas subterrâneas, em relação às águas superficiais; dentre as quais pode-se citar a maior proteção natural contra poluentes, a dispensa em geral de tratamento químico, a necessidade de adutoras menores, o menor tempo para execução da obra de captação. Em síntese, sua exploração gera menores custos, além do menor impacto ambiental, quando observadas as normas que regem a sua implementação. Em geral, atendem aos padrões de potabilidade para abastecimento humano e para uso em atividades como os serviços, a indústria, a agricultura e o lazer, sendo disponíveis em grandes volumes e encontrando-se menos vulneráveis as contaminações se comparados aos rios e lagos que estão mais expostos aos agentes poluentes (BRASIL, 2007).

Quando não alterada por ações antrópicas, a hidroquímica das águas subterrâneas está diretamente relacionada à composição química da precipitação, à composição mineral dos aquíferos e às reações que ocorrem em superfície, por onde a água percola.

O bombeamento de água subterrânea através de poços pode liberar o CO₂ e ocasionar a formação de minerais precipitados, principalmente calcita, gerando condições para ocorrência de incrustação na tubulação dos equipamentos de captação de águas subterrâneas (Todd e Mays, 2005), uma das causas de diminuição da vazão.

O potencial de corrosão e incrustação pode ser determinado por métodos como o de Langelier e o de Ryznar, calculados a partir dos parâmetros sólidos totais dissolvidos, teor de cálcio (dureza cálcica), temperatura, alcalinidade e o pH de saturação, que corresponde ao equilíbrio físico-químico perfeito dos carbonatos de cálcio em solução aquosa, ou seja, afasta a tendência de incrustação e de agressividade das águas (Custodio e Llamas, 1976; Pinto, 2005).

Entretanto, não é realizado o cálculo do pH de equilíbrio como um processo rotineiro nos laboratórios de hidroquímica, devido a sua desobrigatoriedade perante as normas nacionais de controle e de vigilância da qualidade da água (BRASIL, 2006, 2008 e 2011).

Estes índices, com rotina simples de análise laboratorial, quando distribuídos espacialmente podem ser usados como uma ferramenta de baixo custo na gestão de sistemas de abastecimento de água, com captação subterrânea.

INCRUSTAÇÃO E CORROSÃO

A intensidade das corrosões e incrustações varia de acordo com a composição e características hidroquímicas da água e das condições operacionais do poço, como velocidade de circulação da água nos filtros e variação de pressão (Custodio e Llamas, 1976).

Nas tubulações metálicas, como é o caso dos edutores das bombas submersas, tradicionalmente de ferro galvanizado, a corrosão é um processo eletroquímico ocasionado pela presença de eletrólito, a água, que é uma solução eletricamente condutora contendo ácidos, sais ou bases. Tal solução gera uma corrente que conduzirá os íons e dissolverá o oxigênio (solução carregada ionicamente), em função da diferença de potencial gerada pela modificação da aeração, diferença na composição química e superficial do metal, concentração salina ou impureza do metal e pela presença de oxigênio difundido na água. Essa reação química começa na superfície metálica, onde há a transferência de elétrons de uma espécie química para outra (Gentil, 1996). A corrosão conduz à destruição dos materiais por desagregação ou solubilização, que pode ser incrementado pela ação de microorganismos existentes no meio.

O caráter agressivo das águas é proveniente das condições geológicas, predominantemente ácidas, que tornam as águas pouco mineralizadas, com pH ácido e com baixa dureza. Trata-se da

capacidade de dissolver o carbonato de cálcio na presença de gás carbônico e à medida que a temperatura aumenta, o seu potencial agressivo diminui (Pinto, 2005).

Já o processo de incrustação em poços tubulares profundos pode ser definido como a deposição de materiais, mais ou menos aderentes, nas diversas partes constituintes da captação. A corrosão pode auxiliar no processo de incrustação ao liberar metais que podem ser precipitados sob a forma de óxidos, hidróxidos e carbonatos. As incrustações mais frequentes são as de carbonato de cálcio.

Para avaliar as águas subterrâneas em termos de agressividade e incrustação são utilizados métodos indiretos de avaliação como o Índice de Saturação de Langelier (LSI) e o Índice de Ryznar (RSI).

A determinação das características químicas da água pode auxiliar na adoção de medidas e procedimentos específicos que minimizarão esses problemas e facilitarão na manutenção de poços tubulares profundos (Gastmans *et al.*, 2004).

Índice de Langelier

Pode-se prever a natureza da água, precipitante ou corrosiva, através do cálculo do Índice de Saturação do Carbonato de Cálcio na solução (LSI), proposto por Langelier em 1946:

$$LSI = pH_a - pH_s \quad (1)$$

onde pH_s é o pH teórico da água que esta alcançaria em equilíbrio com o $CaCO_3$ (pH de saturação) e o pH_a é o pH atual da água.

O pH de saturação (pH_s) pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$pH_s = 9,3 + A + B - C - D \quad (2)$$

onde:

$$A = \frac{\text{Log}(STD - 1)}{10} \quad (3)$$

$$B = \left| 13,12 \times \text{Log}(T(^{\circ}C) + 273) \right| - 34,55 \quad (4)$$

$$C = \text{Log}(Ca^{2+}) - 0,4 \quad (5)$$

$$D = \text{Log}(\text{alcalinidade}) \quad (6)$$

STD é o total de sólidos dissolvidos e pode ser obtido pelo método de concentração de sais em mg/L ou pelo método com aerômetro em $^{\circ}Be$. Ca^{2+} é a quantidade (concentração) de cálcio e T é a temperatura medida em graus Celsius. A alcalinidade é a quantidade (concentração) de $CaCO_3$ expressa em mg/L.

Pelo Índice de Langelier, o valor negativo do LSI corresponde ao caráter agressivo das águas, ou seja, tendência da água em dissolver depósitos cálcicos, havendo subsaturação de $CaCO_3$. Caso contrário, se for positivo, corresponde ao caráter incrustante das águas, tendendo a formar precipitados e causar obstruções. Nesse caso há a supersaturação de $CaCO_3$. Quando o LSI se apresenta nulo, há um equilíbrio calco- carbônico, tornando a água nem incrustante e nem agressiva (Pinto, 2005).

Índice de Ryznar

O índice de Ryznar indica a probabilidade de ocorrência de corrosão, com base no pH e pH_s (Kemmer, 1988). A severidade da corrosão ou precipitação, ou seja, a relação do estado de saturação do carbonato de cálcio e a camada formada podem ser classificadas pelo Índice de Estabilidade proposto por Ryznar em 1944:

$$\text{RSI} = 2 \times \text{pH}_s - \text{pH}_a \quad (7)$$

onde pH_s é o pH teórico da água que esta alcançaria em equilíbrio com o CaCO_3 (pH de saturação) e o pH_a é o pH atual da água.

Os valores obtidos através do Índice de Ryznar podem ser interpretados da seguinte forma:

- Fortemente Incrustante: $4,0 < \text{IR} < 5,0$;
- Ligeiramente Incrustante: $5,0 < \text{IR} < 6,0$;
- Ligeiramente Incrustante ou Corrosiva: $6,0 < \text{IR} < 7,0$;
- Significativamente Corrosiva: $7,0 < \text{IR} < 7,5$;
- Fortemente Corrosiva: $7,5 < \text{IR} < 8,5$;
- Extremamente Corrosiva: $\text{IR} > 8,5$.

QUALIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A qualidade das águas subterrâneas depende da composição da água de chuva, das interações físico-químicas e biológicas que ocorrem durante sua infiltração na zona não saturada, da mineralogia do aquífero e de seu tempo de permanência neste (Feitosa *et al.*, 2008). Adicionalmente a esses fatores naturais, devem-se considerar os fatores antrópicos, como o uso e ocupação do solo. Em geral, quanto mais profundo e confinado for o aquífero, mais mineralizada será a água subterrânea (Appelo e Postma, 2009).

Embora a água subterrânea venha sendo utilizada para abastecimento público há algumas décadas e, desde então, os critérios de potabilidade de água se tornaram preocupação de saúde pública, não existem levantamentos hidroquímicos sistemáticos dos aquíferos brasileiros. A CPRM vem implementando, desde 2010, uma rede de monitoramento de alguns aquíferos brasileiros, o que não consiste em levantamentos hidroquímicos, sendo, porém, um passo favorável ao gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos.

São poucas e recentes as normas brasileiras referentes à qualidade de águas subterrâneas: as resoluções Conama nº 396 (BRASIL, 2008) e Conama nº 420 (BRASIL, 2009). A primeira refere-se às diretrizes para seu enquadramento e a segunda define valores orientadores de qualidade de água subterrânea e solo para áreas contaminadas.

Das seis classes de água subterrânea definida pela resolução Conama nº 396, três delas referem-se a águas de aquíferos sem alteração de qualidade por atividades antrópicas, ou seja, são classificadas em função de suas características hidrogeoquímicas naturais. São elas a Classe Especial, Classe 1 e Classe 2. A primeira delas corresponde à classe destinada à preservação de ecossistemas de proteção integral e que contribuam diretamente para corpos d'água superficial de classe especial. As Classes 1 e 2 referem-se a aquíferos que possam ser explorados para diversos usos sem qualquer tratamento, no caso da primeira, e com algum tratamento, no caso da segunda.

Contudo, em nenhuma das classes há menção dos parâmetros que influenciam nas propriedades de corrosão e incrustação.

ALCALINIDADE DA ÁGUA

A alcalinidade indica a quantidade de íons necessários, presentes na água, para neutralizar os íons de hidrogênio até um valor definido de pH, tendo condições de indicar a capacidade de tamponamento de uma amostra de água, ou seja, sua condição de resistir a mudanças do pH (BRASIL, 2006).

Os principais componentes da alcalinidade são os bicarbonatos, carbonatos e os hidróxidos, mas existem outros como os boratos, os silicatos, os fosfatos, que também conferem alcalinidade às águas, mas seus efeitos são pouco significativos (Piveli e Kato, 2005).

Consideramos como a alcalinidade total de uma água a soma da concentração de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos, que é expressa em termos de Carbonato de Cálcio (BRASIL, 2004). A distribuição entre essas concentrações de alcalinidade na água (bicarbonatos, carbonatos, hidróxidos) é dada em função do seu pH (BRASIL, 2006):

- pH > 9,4 (hidróxidos e carbonatos);
- pH entre 8,3 e 9,4 (carbonatos e bicarbonatos);
- pH entre 4,4 e 8,3 (apenas bicarbonatos).

A alcalinidade é um parâmetro muito importante nos processos de tratamento de água, pois define a dosagem dos produtos químicos a serem utilizados, como, por exemplo, nos ensaios de coagulação, através de relações estequiométricas entre dosagem de coagulantes e alcalinidade necessária (BRASIL, 2004). Este ensaio leva em consideração características como a cor e turbidez da água bruta, se a alcalinidade natural da água é suficiente, se o pH está dentro da faixa ótima de floculação, o tipo de coagulante empregado, dentre outros (BRASIL, 2004). Além disso, a alcalinidade das águas se relaciona com a dureza, que determina a precipitação de carbonatos principalmente em sistemas de águas quentes, formando as incrustações (Piveli e Kato, 2005).

A alcalinidade das águas não representa risco potencial à saúde pública mesmo podendo alterar o sabor e causar rejeições por parte dos usuários. Mesmo assim, a alcalinidade não constitui um dos requisitos potabilidade (BRASIL, 2011), ficando este efeito limitado pelo valor do pH. Também não é padrão de classificação de águas naturais (BRASIL, 2008) nem da emissão de esgotos (Piveli e Kato, 2005). Entretanto, existem ambientes com altos valores de alcalinidade que podem, manter aproximadamente os mesmos teores de pH, mesmo com o recebimento de contribuições de soluções fortemente ácidas ou alcalinas (BRASIL, 2006).

O controle da corrosão é um aspecto importante da gestão de segurança de um sistema de água potável e envolve diversos parâmetros, incluindo as concentrações do cálcio, bicarbonato, carbonato e oxigênio dissolvido, assim como o pH. Demais requisitos variam dependendo da qualidade da água e os materiais utilizados no sistema de captação e distribuição. O pH controla a solubilidade e a velocidade de reação da maioria das espécies de metais envolvidos em reações de corrosão e é particularmente importante em relação a formação de uma película protetora sobre a superfície metálica. Para alguns metais, a alcalinidade e a dureza cálcica também afetam as taxas de corrosão (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011).

No Brasil, os Aquíferos Serra Geral, Guarani e Bauru, localizados na bacia do Paraná, são os recursos hídricos subterrâneos mais importantes da região centro-sul, utilizados extensivamente no abastecimento público e no desenvolvimento de atividades e serviços múltiplos.

Campos (2004), analisando dados das águas subterrâneas na Bacia do Paraná verificou que, em sua maioria, predominam águas bicarbonatadas cálcicas e águas bicarbonatadas sódicas.

Segundo estudos de Reginato *et. al.* (2013) na região nordeste do Rio Grande do Sul, de Campos (2004) no Estado de São Paulo e de Lastoria *et. al.* (2006) no Mato Grosso do Sul, o Aquífero Serra Geral é caracterizado predominantemente por conter águas bicarbonatas cálcicas e/ou magnesianas.

Análises químicas de amostras de água do Aquífero Guarani indicaram que são dominadas por bicarbonatos segundo estudos de Bonotto (2006) na região de Mato Grosso do Sul, São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Estudos de Gastmans e Chang (2005) no estado do Mato Grosso do Sul relataram a predominância de águas do tipo bicarbonatada cálcica e, subordinadamente do tipo bicarbonatada sódica. Essa característica também pode ser confirmada nos estudos de Campos (2004), na área de ocorrência da unidade em São Paulo, cujas fácies hidroquímicas predominantes foram águas bicarbonatadas cálcicas, seguida de bicarbonatadas cálcico-magnesianas.

O Aquífero Bauru também é caracterizado predominantemente por águas bicarbonatadas, devido à composição mineralógica das rochas que a compõem, em especial devido à presença de carbonato de cálcio e argilominerais que aumentam a salinidade de suas águas. A maioria das águas subterrâneas no interior de São Paulo ocorrendo nesse aquífero são potencialmente corrosivas e incrustantes (Campos, 2004).

A ausência de determinação da alcalinidade e do pH de equilíbrio como um procedimento padrão das normas de controle e vigilância da qualidade das águas dificulta o controle da agressividade e da incrustação. No entanto, são parâmetros importantes para que se tenha um prévio planejamento quanto à seleção de materiais e equipamentos, além da sua manutenção seja em setores industriais ou em captações de águas subterrâneas para abastecimento público, a fim de minimizar esses processos.

CONCLUSÃO

A opção por captações subterrâneas apresenta diversas vantagens em seu uso como a redução dos custos do tratamento. Entretanto, existem muitas águas subterrâneas, como ocorre comumente no Brasil, com elevada dureza ou concentração de sais dissolvidos, que podem alterar o sabor e cheiro da água consumida pelos usuários, fato que pode induzir a população a buscar alternativas de abastecimento de outras fontes que podem estar comprometidas sanitariamente (BRASIL, 2006).

No entanto, a avaliação da qualidade da água subterrânea para os diversos usos deve considerar suas características hidrogeoquímicas naturais, normalmente desconhecidas, uma vez que não há levantamentos dessa natureza dos aquíferos brasileiros e não há exigências das normas de potabilidade e de enquadramento.

Apesar das normas de potabilidade e de classificação de águas subterrâneas não exigirem a determinação dos parâmetros alcalinidade e pH de equilíbrio, ambos poderiam ser inseridos em futura atualização da norma, uma vez que são análises de baixo custo, passíveis de serem incluídos na rotina dos laboratórios de qualidade de água. Tal conhecimento pode ser muito importante no planejamento e gerenciamento do uso dos recursos hídricos subterrâneos, o que pode garantir quantidade e qualidade de água para diversos usos por longo período de tempo em menores custos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. (2010). Atlas Brasil. Abastecimento Urbano de Água. Disponível em <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>. Acesso em 10/05/2013.
- APPELO, C.A.J.; POSTMA, D. (2009). *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. 2.ed. 4th corrected reprint. Amsterdam: A.A. Balkema Publisher.
- BONOTTO, D.M. (2006). *Hydro(radio)Chemical Relationships in the Giant Guarani Aquifer, Brazil*. *Journal Hydrology*, 323, pp. 353–386.
- BRASIL. (2007). Agência Nacional de Águas (ANA). *Panorama Do Enquadramento dos Corpos d'água: Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil*. Brasília: ANA. (Cadernos de Recursos Hídricos, 5).
- BRASIL. (2004). Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). *Manual prático de análise de água*. Brasília: Fundação Nacional de Saúde. 146 p.
- BRASIL. (2006). Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. *Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano*. – Brasília: Ministério da Saúde. 212 p.
- BRASIL. (2011). Ministério da Saúde. *Portaria n° 2914*, de 12 de dezembro de 2011. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2011, págs. 39-46.
- BRASIL. (2008). Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução n° 396*, de 03 de abril de 2008. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 07 abr. 2008, pp. 64-68.
- BRASIL. (2009). Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução n° 420*, de 28 de dezembro de 2009. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 dez. 2009, pp. 81-84.
- CAMPOS, H.C.N.S. (2004). Águas subterrâneas na Bacia do Paraná. *Geosul*. Florianópolis, v. 19, n. 37, jan.-jun, pp. 47-65.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. (1976). *Hidrología subterránea*, tomo I. 1 ed. Barcelona. Editorial Omega.
- FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G.S. (2008). *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 3 ed. Rio de Janeiro, 2008. CPRM, LABHID – UFPE. 812p.
- GASTMANS, D.; STRADIOTO, M.R.; PEDE, M.Z.; HUNG KIANG, C. (2004). Caracterização De Incrustações Em Equipamentos De Bombeamento E Tubulações Instalados Em Poços Tubulares Profundos – Estudo De Caso. Águas Subterrâneas. In *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, São Paulo.

GASTMANS, D.; [CHANG, H.K.](#) (2005). Avaliação da Hidrogeologia e Hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado de Mato Grosso do Sul. *Águas Subterrâneas* (São Paulo), São Paulo, v. 19, n.01, pp. 35-48.

GENTIL, V. (1996). *Corrosão*. Rio de Janeiro: LTC Editora S.A. 345p.

KEMMER, F.N. (1998). *The Nalco Water Handbook*. Nalco Chemical Company. 2 ed. New York: Mc. Graw Hill. 1071p.

[LASTORIA, G.](#); [SINELLI, O.](#); [CHANG, H.K.](#); HUTCHEON, I.; [PARANHOS FILHO, A.C.](#); GASTMANS, D. (2006). Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul. *Águas Subterrâneas* (São Paulo), v. 20, pp. 139-150.

PINTO, C.E.L. (2005). Agressividade e Corrosividade de Água em Terrenos Cristalinos do Norte de Portugal. *Tecnologias Do Meio Ambiente*. Lisboa, ano 12, n. 64, mar.-abr, pp. 28-31.

PIVELI, R.P.; KATO, M.T. (2005). *Qualidade das águas e poluição: Aspectos físico-químicos / R.P.* São Paulo: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental , 285p.

REGINATO, P.A.R.; AHLERT, S.; SCHNEIDER, V. E. (2013). Caracterização Hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral na Região Nordeste do Rio Grande do Sul. *Águas Subterrâneas* (São Paulo), v. 27, n.01, pp. 65-78.

TODD, D.K.; MAYS, L.W. (2005). *Groundwater Hydrology*. 3 ed. John Wiley & Sons, Inc.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). (2011). *Guidelines for Drinking-Water Quality*, 4 ed.