

Copyright 2008, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Contaminação superficial do aço-carbono zincado por imersão a quente cromatizado e não-cromatizado com íons cloreto

Gislaine M. Bragagnolo¹, Jean V. Ferrari², Fernando de L. Fragata³; Mário Carlos Andreoli⁴,
Márcio Bispo de Almeida⁵, Zehbour Panossian⁶, Neusvaldo Lira de Almeida⁷

Abstract

The batch galvanizing process (BGP) can lead to surface contamination of hot-dip galvanized steel (HDGS) with chloride residues. There are many contamination sources in hot-dip galvanizing processes, such as, the use of hydrochloric acid (HCl) in the etching stage, the use of zinc and ammonium chloride ($ZnCl_2 \cdot NH_4Cl$) in the fluxing stage and the use of solid ammonium chloride (NH_4Cl) during the removal of pieces from melted zinc baths. Besides contaminating the hot-dipped zinc surfaces, these sources also contaminate the industrial atmosphere with suspended chloride compounds. They, in turn, contaminate other stages of the galvanizing process, such as, the cooling water bath and the chromating bath. Consequently, the simple immersion in the cooling water or in the chromating bath contaminates the surface of the recent galvanized surfaces with chlorides. This work presents the results obtained in the characterization of several lots of steel which were galvanized in different process conditions, with or without chromate conversion coating.

Keywords: hot-dip galvanized steel; batch hot-dip galvanizing, soluble salt, chromate conversion coating, chromating

Resumo

No processo de zincagem por imersão a quente (ZIQ) do aço-carbono, são várias as fontes de contaminação com sais de cloreto da superfície do aço zincado. Dentre tais fontes, citam-se: a utilização do ácido clorídrico (HCl) na decapagem ácida, do sal duplo de cloreto de zinco e amônio ($ZnCl_2 \cdot NH_4Cl$) no banho de fluxagem e do cloreto de amônio sólido (NH_4Cl), lançado sobre as peças zincadas no momento em que são retiradas do banho de zinco fundido. Estas etapas acabam determinando, além da contaminação da superfície do aço zincado, a suspensão de compostos contendo cloretos no ambiente industrial os quais acabam contaminando, por

1 Mestre em Físico-química pelo Instituto de Química da USP e pesquisadora do Laboratório de Corrosão e Proteção do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT (e-mail: gbraga@ipt.br)

2 Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e aluno de doutorado (e-mail: jean@ferrari@usp.br).

3 Engenheiro, CTEEP - OMM - Divisão de Gestão da Manutenção (e-mail: mandreoli@ctEEP.com.br)

4 Engenheiro Químico, Pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) – Rio de Janeiro (e-mail: fragata@cepel.br)

5 Técnico em metalurgia – Técnico do Laboratório de Corrosão e Proteção do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – (IPT)

6 Doutora em Ciências, Chefe do Agrupamento de Corrosão e Proteção (ACEP) no IPT, Professora convidada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) (e-mail: zep@ipt.br)

7 Mestre em Engenharia pelo Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e Pesquisador do Laboratório de Corrosão e Proteção do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT (e-mail: neusval@ipt.br)

deposição, outras etapas do processo de zincagem, a saber: a etapa de resfriamento por imersão em água e a etapa de cromatização. Conseqüentemente, a simples imersão na água de resfriamento ou no banho de cromatização determina a contaminação significativa da superfície do aço recém-zincado com cloretos. O presente trabalho apresenta os resultados obtidos na caracterização da superfície zincada de vários lotes de chapas de aço submetidas ao processo de zincagem por imersão a quente em diferentes condições e com e sem cromatização.

Palavras-chave: aço-carbono zincado por imersão a quente; processo não-contínuo de zincagem por imersão a quente; sais solúveis; cromatização.

1. Introdução

Durante o processo não-contínuo de zincagem por imersão a quente (ZIQ), pode ocorrer a contaminação das superfícies do zinco com sais de cloreto. Esta contaminação tem sido apontada como a causa de muitas falhas prematuras de camadas de tintas aplicadas sobre superfícies zincadas (sistemas dúplex), nas quais as práticas de preparo da superfície do zinco adotadas não foram capazes de retirar todo o resíduo desta contaminação (1,2).

De fato, na produção do aço zincagem por imersão a quente (AZIQ), são várias as etapas que podem determinar a contaminação da superfície zincada com cloretos. A Figura 1 apresenta de maneira esquemática um processo de zincagem mostrando suas diferentes etapas, quais sejam: desengraxe, lavagem, decapagem, lavagem, fluxagem, imersão em banho de zinco fundido e pós-tratamento (cromatização ou imersão em água para o resfriamento das peças). Destas, as que potencialmente podem ser consideradas como fonte de contaminação são:

- **decapagem:** realizada utilizando-se uma solução de ácido clorídrico, com e sem a adição de inibidores de corrosão. A decapagem pode ser uma fonte de contaminação com cloreto devido aos vapores ácidos que são liberados do tanque que contém a solução ácida, os quais podem atingir as peças já revestidas com o zinco;
- **fluxagem:** consiste na imersão das peças, já desengorduradas e decapadas, em uma solução de sal duplo de cloreto de zinco e amônio ($ZnCl_2 \cdot 2NH_4Cl$). Esta etapa pode ser uma fonte de contaminação, pois, a camada de sal duplo cristalizado que se forma sobre a superfície do aço funde-se no momento da imersão da peça no banho de zinco fundido formando óxidos que juntamente com os óxidos de zinco e ferro e zinco metálico formam a “cinza” ou “terra de zinco” na superfície do banho de zinco. Na “cinza”, os teores de cloreto podem variar de 2% a 12% (4) de modo que a possível contaminação dá-se somente se este resíduo não é eliminado no momento da retirada das peças do banho de zinco fundido. Entretanto, em comparação com a etapa de decapagem, a contaminação com cloreto na superfície do zinco tende a ser maior na etapa da fluxagem devido a inclusões no revestimento dos resíduos de fluxo presente na “cinza” que eventualmente possam ocorrer no processo produtivo;
- **lançamento de cloreto de amônio sólido (NH_4Cl) durante a retirada da peça do banho de zinco fundido:** este lançamento tem o objetivo retirar o excesso do revestimento de zinco, pois o NH_4Cl , ao fundir-se fornece uma maior fluidez ao zinco e assim o excesso do revestimento, ainda fundido, pode escorrer mais facilmente garantindo deste modo um melhor acabamento. Na Figura 2, é possível observar a formação de fumos brancos no momento em que o operador de uma linha de zincagem lança o NH_4Cl sobre o banho e sobre as peças.

Em trabalhos anteriores (2,3), um estudo foi realizado para verificar quais dessas etapas poderiam ser apontadas como as principais responsáveis pela contaminação com cloretos da

superfície do aço zincado, tendo sido identificado o lançamento de NH_4Cl como potencial fonte de contaminação. Este estudo mostrou, também, que o grau de contaminação variava entre as prestadoras de serviço de zincagem (2,3): a análise superficial de amostras zincadas em cinco diferentes prestadoras de serviço mostrou contaminações desde inferiores a $0,8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ até $6,8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Uma análise dos processos operacionais adotados, durante a zincagem dos corpos-de-prova deste estudo, levou a conclusão de que a maneira diferenciada com que os operadores lançavam sal de cloreto de amônio sólido (NH_4Cl), durante a saída das peças do banho de zinco (quantidade de sal, distância de lançamento) determinava a diferença do grau de contaminação citada.

No referido estudo, foi verificado também que ocorria uma contaminação maior com cloretos em peças cromatizadas. Apesar deste fato não ter sido pesquisado, foi levantada a hipótese de que o banho de cromatização estaria contaminado com cloretos, devido ao ambiente industrial, e esta contaminação teria determinado a presença de maiores teores de cloreto na superfície do aço zincado.

O fato descrito associado às controvérsias existentes na literatura com relação a um efeito nocivo ou benéfico da presença da camada de cromatização no desempenho de sistemas dúplex, foi realizado o presente estudo cujo objetivo foi o de verificar o grau de contaminação de superfícies de aço zincado obtidas em diferentes condições, sem e com cromatização. Para complementar o estudo, as chapas zincadas foram submetidas a diferentes tratamentos de limpeza e a eficiência destes tratamentos no que se refere à remoção das contaminações de cloreto foi avaliada.

2. Metodologia

2.1. Obtenção das chapas de AZIQ

Objetivando obter chapas de AZIQ com diferentes níveis de contaminação superficial, foram preparados quatro lotes, em diferentes condições. Estas condições foram estabelecidas levando em consideração os conhecimentos adquiridos em trabalhos anteriores (2,3), nos quais foi verificado que o lançamento do sal de NH_4Cl durante a retirada das peças zincadas do banho fundido era fonte potencial de contaminação e que um banho de cromatização poderia ficar enriquecida com cloretos o que, também, determinaria a contaminação das superfícies zincadas. Quatro lotes foram preparados, a saber:

- **Lote I:** uso de NH_4Cl na saída das chapas do tanque de zinco fundido e cromatização num banho cromatizante recém-preparado, banho novo (banho este que, a princípio, apresentaria contaminação mínima de cloretos);
- **Lote II:** sem o uso de NH_4Cl e sem cromatização. Esta condição foi selecionada como sendo aquela em que a contaminação com cloretos seria mínima;
- **Lote III:** sem o uso de NH_4Cl e cromatização num banho cromatizante que foi bastante utilizado, banho velho (banho este no qual a contaminação com cloreto deveria ser bem maior em relação ao banho recém-preparado);
- **Lote IV:** sem o uso de NH_4Cl e cromatização num banho cromatizante recém-preparado, banho novo (banho este que, a princípio, apresentaria contaminação mínima de cloretos).

Obtiveram-se 200 chapas em cada lote, o que totalizaram 800 chapas de AZIQ.

É importante mencionar que para o Lote II, o procedimento de zincagem foi executado por duas vezes, em dois diferentes grupos de 200 chapas de aço-carbono. Isto porque, no primeiro grupo de 200 chapas, verificou-se que houve uma contaminação superficial significativa com sais de cloreto, fato que não era esperado, visto que, conforme descrito anteriormente, as chapas do Lote II foram processadas de maneira a se obter chapas com contaminação mínima, qual seja, sem o lançamento de NH_4Cl , no momento da retirada das mesmas do banho de zinco

fundido, e sem cromatização. Uma investigação mostrou que esta contaminação ocorreu porque as chapas de AZIQ ficaram armazenadas durante um longo período no ambiente industrial de zincagem. Assim, um outro lote de 200 chapas de aço-carbono foi obtido nas condições descritas para o Lote II. Após a zincagem, as chapas foram imediatamente retiradas do ambiente industrial. Com isto, as chapas de AZIQ deste novo Lote II apresentaram níveis de contaminação salina superficial compatível com os procedimentos de processo adotados para a obtenção das mesmas.

2.2. Tipos de tratamentos de limpeza

No total, quatro tratamentos foram adotados para a limpeza das chapas de AZIQ dos quatro lotes. A Tabela 1 apresenta a descrição sucinta destes tratamentos e a nomenclatura utilizada para identificá-los. O trabalho nº 070 deste Congresso detalha os tipos de pré-tratamentos realizados.

Para diferenciar as chapas tratadas das não-tratadas, foi utilizada a denominação “branca” para as chapas não submetidas à limpeza.

2.3. Determinação do teor de cloreto superficial das chapas de AZIQ dos quatro lotes

A determinação do teor de cloretos superficial das chapas de AZIQ dos diferentes lotes foi realizada pelo método de extração e análise química do extrato aquoso. Para tal, uma chapa de cada lote de AZIQ foi imersa em béquer de 5 L, preenchido com até 4 L de água destilada – grau analítico do tipo 3 (segundo a norma ISO 3696 (5)) em ebulição, juntamente com esferas de vidro isentas de contaminação. Antes da imersão, a água do béquer já se encontrava previamente em ebulição por 10 min. O tempo de extração foi de 60 min.

Em seguida, a chapa foi retirada e lavada cuidadosamente com água destilada quente, sendo a água de lavagem recolhida para o béquer de ensaio. Depois, evaporou-se a água do béquer para 250 mL e deixou-se o extrato esfriar. Em seguida, transferiu-se os 250 mL para um balão volumétrico de 500 mL e completou-se o volume com água destilada. As soluções foram analisadas pelo método de espectrometria na região do ultravioleta visível (UV-Vis), num espectrômetro da marca SHIMADZU, modelo UV-1203 com método colorimétrico, utilizando a reação de deslocamento com tiocianato de mercúrio II na presença de ferro III, com leituras de absorbância em comprimento de onda de 460 nm. O limite de detecção da análise foi de 0,5 ppm de cloreto.

Conhecido o valor da área total ensaiada em cm^2 (para uma) e dos teores de cloretos em ppm dos extratos aquosos, o teor de cloreto superficial em cada determinação foi obtido por meio da seguinte expressão:

$$\text{Teor de Cl } (\mu\text{g}/\text{cm}^2) = (\text{ppm}_{\text{Cl}} \times k) / (A)$$

sendo:

ppm_{Cl} = concentração de cloreto determinada no extrato aquoso em ppm

A = área total ensaiada em cm^2

k = 500, uma constante referente ao volume final do extrato aquoso que foi condicionado num balão volumétrico de 500 mL.

Para as chapas submetidas aos tratamentos de limpeza, o mesmo procedimento foi adotado, com exceção do número de chapas para cada determinação: como se supunha que a grande parte da contaminação com cloreto havia sido removida, procurou-se aumentar a área da superfície contaminada, usando três chapas ao invés de uma chapa usada para as não-tratadas.

Este ensaio foi realizado em triplicata para cada lote de AZIQ, tratada e não-tratada.

2.4. Análise qualitativa e semiquantitativa de Cr na superfície das chapas de AZIQ dos quatro lotes

As chapas dos quatro lotes de AZIQ não-tratadas foram submetidas à análise qualitativa para identificação da presença ou não de camada cromatizada. Para isto, três chapas de AZIQ de cada lote (totalizando uma área aproximada de 990 cm²) foram imersas em béqueres de 5 L com uma solução de hidróxido de sódio (60 g/L) a 86°C, por cerca de dois minutos. Em seguida, o volume destas soluções foi reduzido para 500 mL. Após filtragem, as soluções foram acondicionadas em balão volumétrico e o seu volume completado para um litro.

Dessas soluções, alíquotas de 15 mL foram transferidas para tubos de ensaio, que após acidificação (com ácido fosfórico), foram submetidas a análise qualitativa, por meio do gotejamento de solução alcoólica de 1,5-difenilcarbazida. Nesta análise, após cerca de 10 min do gotejamento, o aparecimento de coloração violeta indica a presença de Cr⁶⁺, ou seja, a presença de camada de cromatização sobre a superfície das chapas de AZIQ.

Todas as chapas de AZIQ do presente estudo foram submetidas a análise qualitativa e semiquantitativa por EDS (espectroscopia de energia dispersiva) com o auxílio de um microscópio eletrônico de varredura, de marca JEOL, modelo JSM 6300, com voltagem de aceleração de 15kV. Para estas análises corpos-de-prova com dimensões de 1 cm x 1 cm foram retirados das chapas de AZIQ. Os resultados da análise por EDS referem-se a uma média da análise realizada em toda a superfície do corpo-de-prova (1 cm² de área). Em alguns casos, foi observada a presença de pontos com aspecto diferente do restante da superfície. Nestes, a análise por EDS foi realizada pontualmente, ou seja, em uma área restrita de dimensões 1 µm x 1 µm e, no caso de se detectar cromo, o resultado foi expresso como “detectado pontualmente”.

2.5. Difração de raios X (DRX)

A superfície de amostras de chapas de AZIQ de todos os lotes, tratadas e não-tratadas, foram submetidas a análises por difratometria de raios X para determinação dos compostos aí presentes. Para estas análises, corpos-de-prova com dimensões 1 cm x 1 cm foram utilizados. Difractogramas foram obtidos num equipamento da marca RIGAKU, modelo RINT 2000, operando a 40 kV-20 mA, equipado com uma fonte de cobre (Kα). A velocidade de varredura angular foi de 0,5°/min, numa faixa de varredura de 2° a 90° (escala 2θ). Os difractogramas de raios X foram obtidos diretamente sobre corpos-de-prova extraídos de cada amostra.

3. Resultados

3.1. Determinação de íons cloreto

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos, que estão graficamente mostrados na Figura 3.

Como esperado, as chapas de AZIQ dos quatro lotes na condição branca (que foram somente limpas com solvente orgânico para remoção de sujidades) apresentaram maior contaminação superficial com cloreto em relação às tratadas. É importante mencionar que em trabalhos anteriores (2,3), teores de cloreto superficiais encontrados em chapas e AZIQ não-limpas com solvente orgânico foram semelhantes aos teores encontrados em chapas limpas com solvente orgânico. Atribui-se a estes resultados, a não-dissolução de contaminantes salinos solúveis (em água) por solventes orgânicos.

Entre as chapas de AZIQ brancas, verificaram-se diferentes graus de contaminação para cada um dos lotes. Nitidamente, a cromatização das chapas de AZIQ do Lote III num banho cromatizante envelhecido causou uma maior contaminação com cloreto (13,4 µg/cm²) do que a cromatização do Lote IV que foi feita em banho recém-preparado (1,7 µg/cm²). Para confirmar este resultado, solicitou-se do prestador de serviço de ZIQ uma amostra do banho cromatizante

velho e outra do banho recém-preparado. Por meio de análise química potenciométrica destes banhos (com nitrato de prata), foi possível verificar que o banho cromatizante velho possuía uma contaminação média com cloreto de 365 ppm, enquanto o banho recém-preparado possuía uma contaminação com cloreto de 1,0 ppm.

Assim, verificou-se que o envelhecimento do banho de cromatização no processo de ZIQ ocasiona uma maior contaminação com cloreto devido ao acúmulo, neste banho, de sais de cloreto provenientes de etapas anteriores do processo. Conseqüentemente, as chapas de AZIQ, cromatizadas num banho velho, possuem maiores contaminações superficiais com cloreto em relação às cromatizadas num banho recém-preparado.

Em concordância com as experiências obtidas em trabalhos anteriores (2,3), verifica-se que realmente o lançamento de NH_4Cl durante a retirada das chapas do banho de zinco fundido aumenta o teor de contaminação superficial com cloreto das chapas de AZIQ. Isto pode ser comprovado comparando o teor de cloreto superficial ($5,6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) das chapas de AZIQ brancas do Lote I (com NH_4Cl) com o teor de cloreto ($1,7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) das chapas de AZIQ brancas do Lote IV (sem NH_4Cl). Como as chapas de AZIQ de ambos os lotes (I e IV) foram cromatizadas em banho novo, o único fator que as difere é o lançamento de NH_4Cl .

Convém chamar atenção no seguinte fato: a contaminação decorrente do uso do banho de cromatização envelhecido é potencialmente maior do que a contaminação decorrente do uso do NH_4Cl , pois no Lote III, em que não se usou este sal, porém, a cromatização foi feita em banho envelhecido, o teor de cloreto ($13,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) foi o maior entre todos os lotes.

Quanto aos tratamentos de limpeza, os resultados apresentados na Figura 3 mostram claramente que todos eles determinam uma diminuição da contaminação com cloretos. No entanto, em geral, a eficiência de remoção foi menor para as chapas do Lote I. Assim pode-se inferir que a contaminação com cloreto ocasionada pelo lançamento NH_4Cl durante a retirada das peças do banho de zinco fundido no processo de ZIQ é mais dificilmente removida pelos tratamentos de limpeza do que a contaminação devido à solução cromatizante. Muito provavelmente, a contaminação com o lançamento do NH_4Cl causa incrustação e a contaminação no banho de cromatização causa apenas adsorção.

Para os Lotes II, III e IV, os níveis de contaminação com cloreto das chapas tratadas por **L** (lixamento mecânico manual) e **S** (ação mecânica com esponja abrasiva e água quente) foram semelhantes entre si, porém, menores do que os das chapas tratadas por **D** (desengraxe alcalino aquoso) e **J** (lavagem com água a alta pressão - hidrojateamento). Estas afirmações também são válidas para as chapas de AZIQ tratadas para pintura do Lote I, no entanto, conforme já citado, os níveis de contaminações deste Lote foram sistematicamente maiores.

Com base no exposto, conclui-se que a eficiência na remoção de contaminantes salinos pelos tratamentos de limpeza é maior para os tratamentos **S** (ação mecânica com esponja abrasiva e água quente) e **L** (lixamento mecânico manual), seguidos dos pré-tratamentos **J** (lavagem com água a alta pressão - hidrojateamento) e **D** (desengraxe alcalino aquoso).

3.2. Análise qualitativa para a identificação de Cr^{6+} na superfície das chapas de AZIQ dos quatro lotes

A Figura 4 apresenta o resultado obtido para os quatro lotes e a prova de referência (alíquota referência de água destilada) da análise qualitativa realizada para verificação da presença de Cr^{6+} . Nesta Figura, é possível observar que somente nas alíquotas do Lote II e na referência (B), não se desenvolveu coloração violeta, indicando que estas não apresentam Cr^{6+} . Estes resultados estão de acordo com os procedimentos propostos neste trabalho, no qual somente as chapas de AZIQ do Lote II não foram cromatizadas.

A Tabela 3 apresenta os resultados da análise semiquantitativa realizada por EDS na superfície das chapas de AZIQ, tanto das não-tratadas como das tratadas. Convém enfatizar que os teores em massa dos elementos detectados e apresentados na Tabela 2 servem somente para dar uma indicação do estado químico da superfície dos corpos-de-prova de cada amostra, em termos comparativos, visto que os valores apresentados não podem ser considerados como exatos.

Observando a Tabela 3, verifica-se novamente que o Lote II não apresentou Cr em sua superfície, confirmando o resultado obtido na análise qualitativa. Quanto aos demais lotes, os seguintes resultados foram obtidos:

- Lote I (branco) – **com** NH₄Cl cromatizado em banho **novo**: 0,11%
- Lote III (branco) – **sem** NH₄Cl cromatizado com banho **velho**: 0,23%
- Lote IV (branco) – **sem** NH₄Cl cromatizado em banho **novo**: detectado pontualmente

Esses resultados levam a supor que o banho velho determina a formação de uma camada de cromatização com maior teor de Cr (comparar o Lote III com o IV). Isto, de fato, é esperado visto que, num banho recém-montado, o teor de Cr³⁺ é praticamente nulo e, num banho velho, este teor aumenta o que favorece a formação de uma camada com maior teor de cromo. Além disto, aparentemente a aplicação do fluxo também favorece a obtenção de camada mais rica em cromo (comparar o Lote I com o IV). Isto deve ser devido ao fato do fluxo remover o óxido formado na superfície do zinco, após a sua retirada do banho fundido. Assim, quando o zinco entra em contato com o banho de cromatização, a reação entre o zinco e a solução é favorecida.

Quando às chapas tratadas, os resultados da Tabela 3 mostram que o “desengraxe alcalino aquoso” e a “lavagem com água a alta pressão” não foram capazes de retirar todo o Cr presente da superfície das amostras, visto que este elemento foi detectado nos três lotes que receberam tratamento de cromatização (Lotes I, III e IV). Já os tratamentos “ação mecânica com esponja abrasiva e água quente” e “lixamento mecânico manual” foram capazes de remover todo o Cr proveniente da cromatização.

3.3. Análise por DRX de corpos-de-prova de AZIQ antes e após os pré-tratamentos

A Tabela 4 apresenta os compostos químicos que foram detectados na análise por difratometria de raios X. As Figuras 5 a 8 mostram os difratogramas obtidos (nestes, o eixo x, refere-se a 2θ, em graus, e o eixo y, refere-se à intensidade dos picos detectados, em contagem por segundo – cps). Nos difratogramas, destacou-se o valor em 2θ (em graus) dos picos preponderantes dos compostos químicos detectados.

Na Tabela 4, verifica-se que as fases *eta* (Zn puro) e *zeta* (intermetálicos do AZIQ) foram detectadas em todas as amostras, no entanto para as amostras LI – B, LI – J e LII – S, os picos foram de baixa intensidade, quase imperceptíveis. Os picos principais da fase *zeta* são identificados nas regiões de varredura angular (2θ) entre 41,5° e 44,0°.

Para se ter certeza de que os pequenos picos que apareceram nos difratogramas eram dos intermetálicos do AZIQ, foi feito um exame metalográfico na seção transversal destas chapas para confirmar a presença do intermetálico *zeta* junto à superfície. A presença do referido intermetálico foi confirmada (ver exemplo mostrado na Figura 9).

O fato do zinco e do intermetálico *zeta* terem sido determinados em todos os lotes era esperado, visto que o AZIQ obtido pelo processo não-contínuo apresenta estas duas fases.

Voltando aos resultados apresentados na Tabela 4, verifica-se que:

- a *zincita*, um dos primeiros compostos que se forma sobre o zinco em processos corrosivos, foi detectada nas amostras:

brancos: todos os lotes;

desengraxados: LI – D; LIII – D;

hidrojateados: nenhum;

ação mecânica com esponja abrasiva: nenhum

lixamento manual mecânico: todos os lotes;.

- a *simonkolleita* $Zn_5(OH)_8Cl_2 \cdot H_2O$, cloreto básico de zinco – foi detectada nas amostras:

brancos: LI –B; LII-B e LIII – B;

desengraxados: LI – D; LII – D e LIII -D;

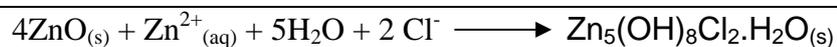
hidrojateados: LIII –D e L – IV;

ação mecânica com esponja abrasiva: nenhum;

lixamento manual mecânico: nenhum.

Com relação a *simonkolleita*, em trabalhos no qual a corrosão atmosférica do zinco é abordada, este composto geralmente é detectado por DRX, citando-se como exemplo os trabalhos de Morales et al. (6) e de Quintana et al. (7).

Segundo Qu et al. (8), este composto é formado segundo a reação:



Segundo esses últimos autores, no processo corrosivo do zinco, sítios catódicos e anódicos são criados. Os íons cloreto solúveis tendem a migrar para os sítios anódicos (dissolução do zinco), no qual ocorre a formação da *simonkolleita* com a reação deste ânion com o composto *zincita*, íons de zinco e água. A partir do diagrama de estabilidade apresentado na Figura 10, verifica-se que o referido composto é estável em valores de pH intermediários (aproximadamente de 6,1 a 8,2) e forma-se em meios no qual a concentração de íon cloreto é maior que 0,001 mol/L (35,45 mg/L ou 35,45 ppm), o que pontualmente, na superfície do metal contaminado e umedecido, não é difícil de ser alcançada. Verifica-se, também, neste diagrama, que quanto maior é a concentração de íons cloreto no meio, mais facilmente o composto é formado.

Com relação à corrosão atmosférica do zinco, a formação da *simonkolleita* é benéfica para proteção do AZIQ, pelo fato deste composto ser insolúvel em água. Entretanto, a sua formação ocorre somente em condições neutras ou alcalinas, com contaminação restrita de cloreto. Em condições nas quais a umidade e presença de cloreto é excessiva, este composto insolúvel não é formado (9)

Chung, Shiu e Shih (10) estudaram os estágios iniciais da corrosão do zinco na presença de cloreto e verificaram que a *simonkolleita* pode se formar na superfície do zinco contaminado com 0,9 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ de cloreto e exposta em câmara de umidade (com umidade relativa controlada de 70%) após somente 24 h de exposição. Já van Alphen (11) comenta que no processo de ZIQ, é possível que ocorra a formação de uma camada muito fina de cloreto básico de zinco na superfície do AZIQ, devido à utilização de sal de NH_4Cl no processo. No entanto, este autor atribui a presença desta fina camada às dificuldades de obter-se uma boa aderência de tintas sobre o AZIQ.

Assim, pelas duas justificativas anteriores citadas e pelos resultados obtidos na análise por DRX, antes dos tratamentos de limpeza realizados em corpos-de-prova de AZIQ, é muito provável que todas as chapas de AZIQ (cromatizadas ou não) possuíssem a *simonkolleita* em sua superfície, o que foi confirmado pela presença deste composto nos corpos-de-prova brancos e mesmo após a execução de alguns tratamentos de limpeza, os quais não devem ter sido capazes de eliminar este composto.

4. Análise dos resultados

Com base nos resultados obtidos neste trabalho e em trabalhos anteriores (2,3) foi possível identificar as fontes potenciais de contaminação da superfície do AZIQ com sais de cloreto em uma planta industrial de zincagem por imersão a quente. Dentre tais fontes, as mais significativas são:

- **lançamento de NH₄Cl durante a retirada das peças do banho de zinco fundido.** Neste caso, muito provavelmente, resíduos de sal podem ficar incrustados na superfície do zinco recém-aplicado. Esta operação também é responsável pela contaminação expressiva da atmosfera local com partículas de NH₄Cl. Este sal, a partir 327°C, decompõe-se em amônia (NH₃) e gás clorídrico (HCl), segundo a reação:



Como a temperatura das peças ao serem retiradas do banho de zinco é cerca de 400°C a 450°C, a referida reação certamente ocorre, fato que pode ser inclusive constatado na prática pela formação de fumos brancos durante o lançamento deste sal sobre as peças (Figura 2). A amônia e o gás clorídrico, formados e liberados para a atmosfera, podem recombinar-se, formando uma fumaça composta por finas partículas de NH₄Cl. Estas partículas são então responsáveis pela contaminação da atmosfera local citado;

- **cromatização ou imersão em água de resfriamento.** Em análises realizadas nestes estudo e em trabalhos anteriores (2,3), foi verificado que de fato o banho de cromatização e a água de resfriamento contêm cloretos em menor ou maior grau. Muito provavelmente, os cloretos são levados a estas soluções tanto por arraste como pela deposição de compostos contendo cloretos, presentes na atmosfera industrial. O gás HCl proveniente do tanque de decapagem pode contaminar a atmosfera local e posteriormente ser absorvido pelas soluções aquosas. O NH₄Cl pode contaminar a atmosfera local, segundo o mecanismo já descrito, e pode cair por gravidade no tanque do banho de cromatização ou da água de resfriamento. Neste caso, a contaminação, muito provavelmente, é por adsorção, não sendo incrustação. Cabe ressaltar, que se o banho estiver rico em cloretos, esta rota é a que determina maior contaminação superficial das chapas zincadas. Neste sentido, é bom lembrar que a norma ASTM D 6386 (12), que aborda o preparo da superfície do AZIQ para pintura, não recomenda a pintura do AZIQ cromatizado ou imerso em água após a zincagem, obtido em processo não-contínuo, com base em experiências obtidas no mercado. Esta recomendação decorre do fato destas duas condições determinarem uma contaminação significativa do AZIQ;
- **deposição direta de compostos contendo cloretos sobre a superfície de peças recém-zincadas.** Se as peças recém-zincadas permanecerem no ambiente industrial, podem ficar fortemente contaminadas pela deposição de partículas de NH₄Cl presentes na atmosfera local. Este fato foi constatado na primeira vez em que se preparou o Lote II: as chapas que foram zincadas tentando-se evitar a sua contaminação apresentaram altos teores de cloreto superficial por terem sido armazenadas no ambiente industrial por longo período.

Um fato fica bem claro com os resultados apresentados e discutidos: é praticamente impossível obter superfícies de AZIQ sem contaminação com cloretos, uma vez que o ambiente é altamente contaminado com cloretos. Para mudar este quadro, é necessário introduzir mudanças radicais no processo de ZIQ, como isolar a área de decapagem da área onde o tanque de zinco fundido fica instalado e suprimir totalmente o uso do sal de NH₄Cl do processo de zincagem.

Para complementar a discussão, é apresentada a Tabela 5 que mostra um resumo das condições em que os diferentes lotes de AZIQ deste estudo foram obtidos bem como um resumo dos resultados dos ensaios e análises realizados para a caracterização do nível de contaminação dos mesmos. Com base nos resultados apresentados na Tabela 5, algumas conclusões complementares aos do Ferrari (2), podem ser apresentadas:

- a contaminação decorrente do uso do sal NH_4Cl durante a retirada das peças do banho de zinco fundido (comparar Lote I com o Lote III e Lote IV) é menor do que a contaminação com cloretos decorrente do uso de banho envelhecido (comparar Lote III e Lote IV);
- o uso de banho envelhecido de cromatização, além de determinar maior contaminação da superfície do AZIQ com cloretos, determina a formação de uma camada de cromatização com maior teor de Cr (comparar o lote III com o IV). Isto, de fato, é esperado visto que, num banho recém-montado, o teor de Cr^{3+} é praticamente nulo e, num banho velho, este teor aumenta o que favorece a formação de uma camada com maior teor de cromo;
- a aplicação do fluxo também favorece a obtenção de camada mais rica em cromo (comparar o Lote I com o IV). Isto deve ser devido ao fato do fluxo remover o óxido formado na superfície do zinco, após a sua retirada do banho fundido. Assim, quando o zinco entra em contato com o banho de cromatização, a reação entre o zinco e a solução é favorecida.

Um outro objetivo do presente trabalho foi submeter chapas de cada um dos lotes de AZIQ a diferentes tratamentos de limpeza e verificar a eficiência desta limpeza no que se refere à remoção de cloretos superficiais. Quatro pré-tratamentos foram adotados, a saber:

- desengraxe alcalino aquoso;
- lavagem com água (isento de areia) a alta pressão – hidrojateamento;
- ação mecânica com esponja abrasiva e água quente;
- lixamento mecânico manual.

A superfície de chapas assim preparadas foi devidamente caracterizada por meio de exames no MEV, análises por EDS e determinação do teor de cloretos. Os resultados obtidos, resumidamente apresentados na Tabela 5, mostraram que:

- o desengraxe e o hidrojateamento não foram capazes de retirar a contaminação com cloreto da superfície dos diferentes lotes e nem foram capazes de retirar todo o filme de cromatização. O fato do hidrojateamento não ser eficiente deve-se, provavelmente, à presença da *simonkoleitta*, sal insolúvel de cloreto, presente na superfície do AZIQ;
- os tratamentos “ação mecânica com esponja abrasiva e água quente” e “lixamento mecânico manual” removeram todo a contaminação com cloreto, incluindo o sal insolúvel, a *simonkoleitta*, mas também removeram todo o filme de cromatização.

5. Conclusões

A condução do presente projeto permitiu concluir que o processo de imersão a quente determina a contaminação superficial com sais de cloreto, tanto solúveis como insolúveis, sendo três as fontes de contaminação mais significativas:

- uso de sal de NH_4Cl durante a retirada das peças do banho de zincagem. Esta operação determina, além da contaminação da superfície zincada, uma expressiva contaminação da atmosfera industrial com partículas suspensas deste sal;
- imersão em água de resfriamento ou em banho cromatizante, especialmente quando os mesmos são envelhecidos (usados durante muito tempo). Esta contaminação é decorrente do enriquecimento com cloreto destas soluções devido ao arraste de sais de cloreto das etapas

anteriores e à absorção de gás clorídrico ou à deposição de sais de cloreto suspensos na atmosfera industrial;

- deposição direta de sais de cloreto suspensos na atmosfera industrial sobre peças já zincadas que ficam armazenadas no ambiente industrial.

Para a retirada das contaminações com cloreto da superfície do AZIQ, é necessário submeter a superfície do AZIQ a tratamentos com ação abrasiva associada à lavagem com água. Como meio abrasivo, pode-se usar esponjas ou lixas, devendo a água de lavagem ser isenta de cloretos. O hidrojateamento não é eficiente, visto que não é capaz de eliminar toda a contaminação, especialmente os sais de cloreto insolúveis.

Referências bibliográficas

- (1) FRAGATA, F.L., PANOSSIAN, Z., FERRARI, J. V. Pintura de aço zincado por imersão a quente (aço galvanizado) - Falha prematura devido à presença de contaminantes salinos provenientes do processo de zincagem In: **XI Encontro e Exposição Brasileira de Tratamentos de Superfície – EBRATS 2003**, São Paulo. Anais do XI Encontro Brasileiro de Tratamentos de Superfície. , 2003
- (2) FERRARI, JEAN. **Contaminação com sal de cloreto e cromatização da superfície do aço zincado no processo não-contínuo de zincagem por imersão a quente: influência no desempenho de tintas e determinação de pré-tratamentos para pintura adequados**. 2006. 188 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, PMT, Engenharia Metalúrgica e de Materiais.
- (3) PANOSSIAN, Z.; FERRARI, J.V.; FRAGATA, F.L. Contaminação da superfície do aço carbono zincado por imersão a quente com sais solúveis provenientes do processo de zincagem. In: **Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos – Coteq 8**, Salvador, 2005. (CD-ROM)
- (4) POLI, J.R.C. Aspectos gerais da galvanização. In: **Zincagem por imersão a quente**. São Paulo: Associação Brasileira de Metais – ABM. 1976, p. 6.23
- (5) ISO – **INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION**. ISO 3696:1987 - water for analytical laboratory use – specification and test methods. Geneva. 5p.
- (6) MORALES et al. Atmospheric corrosion in subtropical areas: XRD and electrochemical study of zinc atmospheric corrosion products in the provience of Santa Cruz de Tenerife (Canary Islands, Spain). **Corrosion Science**, Oxford, 2005. in press
- (7) QUINTANA et al. Study of the composition and morphology of initial stages of corrosion products formed on Zn plated exposed to the atmosphere of southeast Mexico. **Applied Surface Science**, Amsterdam, v.99, p. 325-334, 1996.
- (8) QU et al. Effects of NaCl and SO₂ on the initial atmospheric corrosion of zinc. **Corrosion Science**, Oxford, v. 44, p. 2789-2803, 2002.
- (9) KUCERA, V.; MATTSON, E. Atmospheric corrosion. In: **Corrosion mechanisms**. New York: Marcel Dekker, 1987. p. 221-284 (Chemical Industries, 28).
- (10) CHUNG, S.C.; SHIU, M.S.; SHIH, H.C. On the initial stages of zinc atmospheric corrosion in the presence of chloride In: **INTERNATIONAL CORROSION CONGRESS**, 14., 1999, Cape Town. **Proceedings...**Cape Town: International Corrosion Council, 1999, CD ROM.

- (11) van ALPHEN, M. Paint film components. **National Environmental Health Forum Monographs: Australia. General Series n.2.** 145p. Disponível em: <http://www.nphp.gov.au/enhealth/council/pubs/pdf/paint.pdf>, 1998.
- (12) ASTM 1999. D 6386: standard practice for preparation of zinc (hot-dip galvanized) coated iron and steel and hardware surfaces for painting. Philadelphia. 7p.

Tabela 1 - Relação dos pré-tratamentos de pintura

Lote	Nomenclatura	Descrição dos tratamentos de limpeza
I, II, III e IV	B	Branco, amostras limpas somente com pano embebido no mesmo solvente utilizado para diluir as tintas (amostras-referência)
	D	Desengraxe alcalino aquoso
	J	Lavagem com água (isenta de areia) a alta pressão - hidrojateamento
	S	Ação mecânica com esponja abrasiva e água quente (60°C)
	L	Lixamento mecânico manual

Tabela 2 – Teores de cloreto superficial de chapas de AZIQ dos quatro lotes, pré-tratadas ou não para pintura.

Lotes	Teor de cloreto superficial ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) antes e após o pré-tratamento de pintura				
	Formato do resultado: média / (desvio padrão)				
	B Branco (limpo com solvente orgânico)	D Desengraxe alcalino aquoso	J Lavagem com água a alta pressão	L Lixamento mecânico manual	S Ação mecânica com esponja abrasiva e água quente
I	5,6 / (1,5)	2,6 / (0,2)	1,8 / (0,1)	0,6 / (0,1)	0,5 / (0,1)
II	2,1 (0,4)	0,9 / (0,2)	1,0 / (0,2)	0,4 / (0,1)	0,3 / (0,1)
III	13,4 (5,5)	0,8 / (0,0)	1,0 / (0,1)	0,3 / (0,1)	0,4 / (0,0)
IV	1,7 (0,1)	0,8 / (0,2)	0,7 / (0,2)	0,2 / (0,0)	0,4 / (0,1)

Tabela 3 – Teores de cromo superficial de chapas de AZIQ dos quatro lotes, pré-tratadas ou não para pintura. Resultados de análise semiquantitativa por EDS*

Lotes	Teor de cromo total (%)				
	B Branco (limpo com solvente orgânico)	D Desengraxe alcalino aquoso	J Lavagem com água a alta pressão (hidrojateamento)	L Lixamento mecânico manual	S Ação mecânica com esponja abrasiva e água quente
I	0,11	Detectado pontualmente	Detectado pontualmente	Não detectado	Não detectado
II	Não detectado	Não detectado	Não detectado	Não detectado	Não detectado
III	0,23	0,22	Detectado pontualmente	Não detectado	Não detectado
IV	Detectado pontualmente	Detectado pontualmente	Detectado pontualmente	Não detectado	Não detectado

* os teores em massa apresentados servem somente para dar uma indicação do estado químico da superfície dos corpos de prova de cada amostra em termos comparativos, visto que os valores podem ser obtidos por EDS não podem considerados como exatos,
nd = não detectado

Tabela 4 – Compostos químicos detectados pela análise por DRX realizados nos corpos-de-prova de AZIQ submetidos ou não aos pré-tratamentos de pintura. A Tabela mostra os principais picos dos compostos detectados.

Amostra	Compostos químicos detectados	Distância interplanar do pico principal (Å)	2θ (°)
Lote I – B	zinco	2,0878	43,3
	ξ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1543	41,9
	Zn ₅ (OH) ₈ Cl ₂ .H ₂ O (<i>simonkolleita</i>)	7,8240	11,3
	ZnO (<i>zincita</i>)	2,4662	36,4
Lote II – B	zinco	2,0860	43,3
	ξ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1523	41,9
	Zn ₅ (OH) ₈ Cl ₂ .H ₂ O (<i>simonkolleita</i>)	7,8102	11,3
	ZnO (<i>zincita</i>)	2,4662	36,4
Lote III – B	zinco*	2,0851	43,4
	ξ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)*	2,1573	41,8
	Zn ₅ (OH) ₈ Cl ₂ .H ₂ O (<i>simonkolleita</i>)	7,9077	11,2
	ZnO (<i>zincita</i>)	2,4741	36,3
Lote IV – B	zinco	2,0897	43,2
	ξ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1533	42,1
	ZnO (<i>zincita</i>)	Não registrou	36,2
	Zn ₅ (OH) ₈ Cl ₂ .H ₂ O (<i>simonkolleita</i>)	7,9645	11,2
	ZnO (<i>zincita</i>)	2,4860	36,7
Lote I – D	zinco	2,0971	43,3
	ξ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1592	41,9
	Zn ₅ (OH) ₈ Cl ₂ .H ₂ O (<i>simonkolleita</i>)	7,9645	11,2
	ZnO (<i>zincita</i>)	2,4860	36,7
	Zn ₅ (OH) ₈ Cl ₂ .H ₂ O (<i>simonkolleita</i>)	7,7556	11,4

continua...

... continuação da Tabela 4

Amostra	Compostos químicos detectados	Distância interplanar do pico principal (Å)	2 θ (°)
Lote II – D	zinco	2,0878	43,3
	ξ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1494	42,0
	Zn ₅ (OH) ₈ Cl ₂ .H ₂ O (<i>simonkolleita</i>)	7,7556	11,4
Lote III – D	zinco	2,0869	43,3
	ξ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1523	41,9
	Zn ₅ (OH) ₈ Cl ₂ .H ₂ O (<i>simonkolleita</i>)	7,8517	11,3
	ZnO (<i>zincita</i>)	2,4623	36,6
Lote IV – D	zinco	2,0924	43,5
	ξ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1573	41,9
Lote I – J	zinco*	2,4794	36,1
		2,0924	43,1
	ξ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)*	2,1543	41,9
Lote II – J	zinco	2,0943	43,1
	ξ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1592	41,9
Lote III – J	zinco	2,0897	43,2
	ξ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1443	42,1
	Zn ₅ (OH) ₈ Cl ₂ .H ₂ O (<i>simonkolleita</i>)	7,8936	11,5
Lote IV – J	zinco	2,0915	43,5
	ξ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1573	42,5
	Zn ₅ (OH) ₈ Cl ₂ .H ₂ O (<i>simonkolleita</i>)	7,9077	11,2
Lote I – S	zinco	2,097	43,2
	ξ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1642	41,9
	Pb	2,8644	31,2
Lote II – S	zinco*	2,09	43,2
	ξ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)*	2,1592	41,9
	Pb	2,8554	31,2

continua...

...continuação da Tabela 4

Amostra	Compostos químicos detectados	Distância interplanar do pico principal (Å)	2 θ (°)
Lote III – S	zinco	2,0878	43,3
	ζ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1494	42,1
	Pb	2,8466	31,6
Lote IV – S	zinco	2,0878	43,7
	ζ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1543	42,3
	Pb	2,8466	31,3
Lote I – L	zinco	2,0879	43,4
	ζ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1543	42,1
	ZnO (<i>zincita</i>)	2,4403	36,5
Lote II – L	zinco	2,0917	43,9
	ζ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1445	42,1
	ZnO (<i>zincita</i>)	2,4532	36,5
Lote III – L	zinco	2,0872	43,3
	ζ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1494	42,1
	ZnO (<i>zincita</i>)	2,4597	36,9
Lote IV – L	zinco	2,0878	43,8
	ζ FeZn ₁₃ (fase zeta – intermetálico AZIQ)	2,1543	41,9
	ZnO (<i>zincita</i>)	2,4662	36,4

* *Picos imperceptíveis*

Tabela 5 - Resumo das condições em que os quatro lotes de chapas de AZIQ, o objetivo pelo qual tais condições foram realizadas e resumo dos resultados dos ensaios e análise realizados na superfície dos mesmos.

Lote	Condições de obtenção	Objetivo	Cloretos ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Análise qualitativa do Cr^{6+}	MEV e EDS	DRX
Lote I	Com NH_4Cl , banho de cromatização novo	Obter uma superfície cromatizada com contaminação proveniente principalmente pelo uso de NH_4Cl na saída da peça do banho fundido	5,6	Presente	Cr – 011%	zinco ξFeZn_{13} <i>simonkolleita</i> zincita
Lote II	Sem NH_4Cl , sem cromatização	Obter uma superfície sem contaminação e sem cromatização	2,1	Ausente	Cr – não detectado	zinco ξFeZn_{13} <i>simonkolleita</i> zincita
Lote III	Sem NH_4Cl , banho de cromatização velho	Obter uma superfície cromatizada com contaminação proveniente do banho cromatizado enriquecido com cloretos	13,4	Presente	Cr – 0,23%	zinco ξFeZn_{13} <i>simonkolleita</i> zincita
Lote IV	Sem NH_4Cl , banho de cromatização novo	Obter uma superfície cromatizada sem contaminação	1,7	Presente	Cr – 0,11%	zinco ξFeZn_{13} <i>simonkolleita</i>

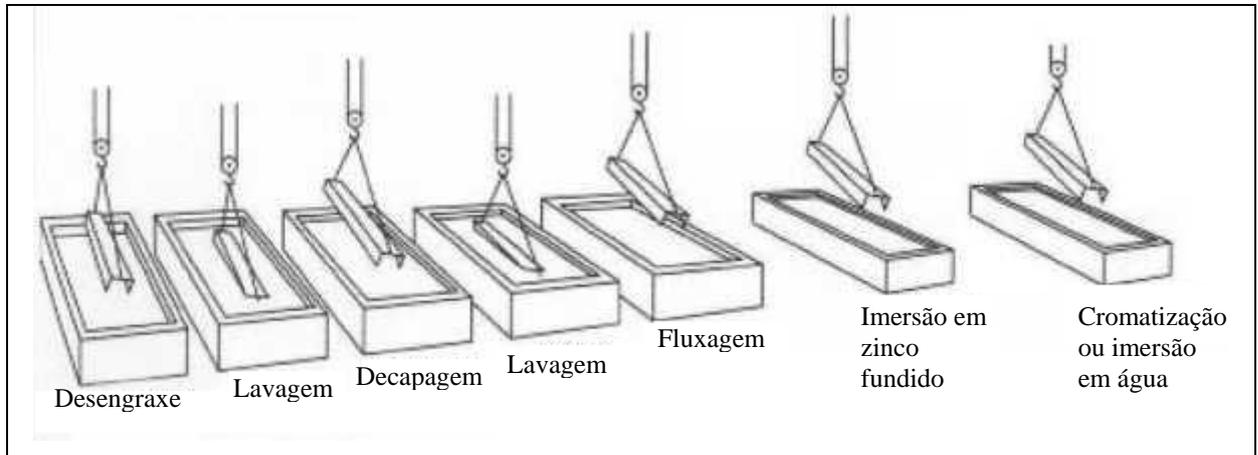


Figura 1 - Processo de zincagem por imersão a quente.



Figura 2 – Peças já zincadas saindo do banho de zinco e operador lançando cloreto de amônio sobre o banho e sobre as peças.

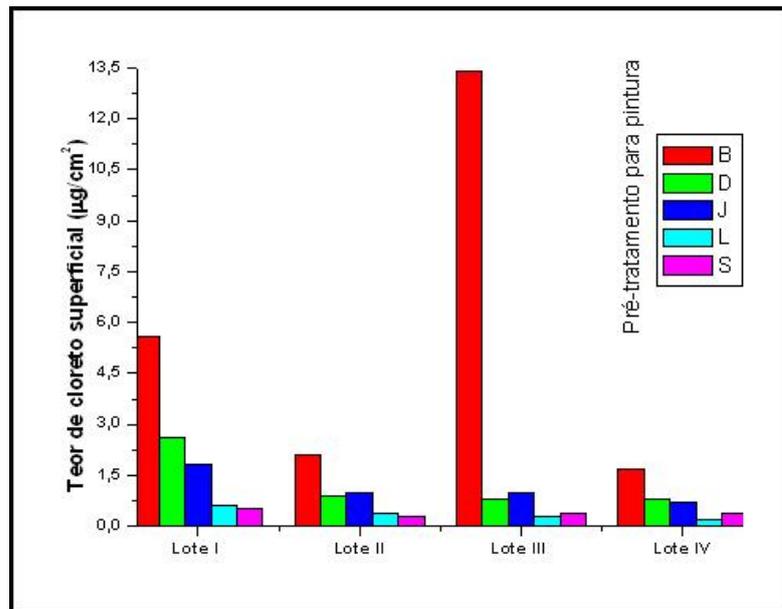


Figura 3 – Teores de cloreto superficiais médios das chapas de AZIQ (dos quatro lotes) tratadas ou não-tratadas.

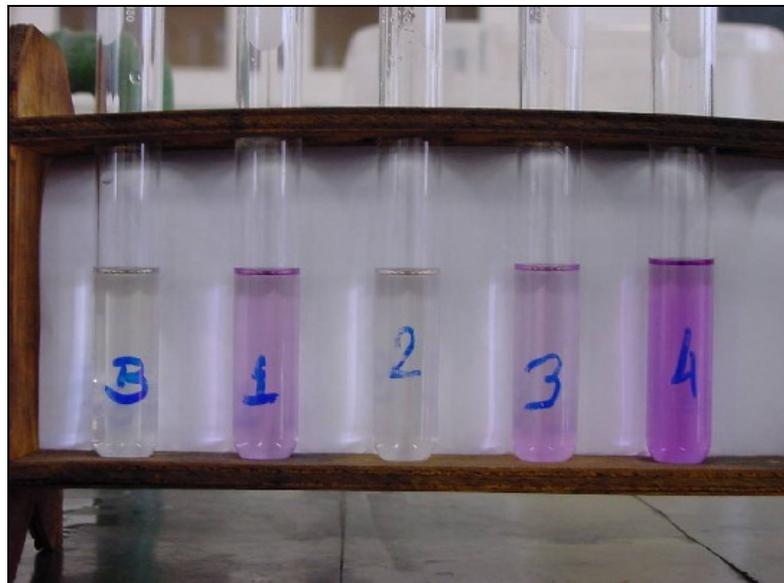


Figura 4 – Resultado da análise qualitativa para confirmar ou não a presença de camada de cromatização nas chapas de AZIQ dos quatro lotes.

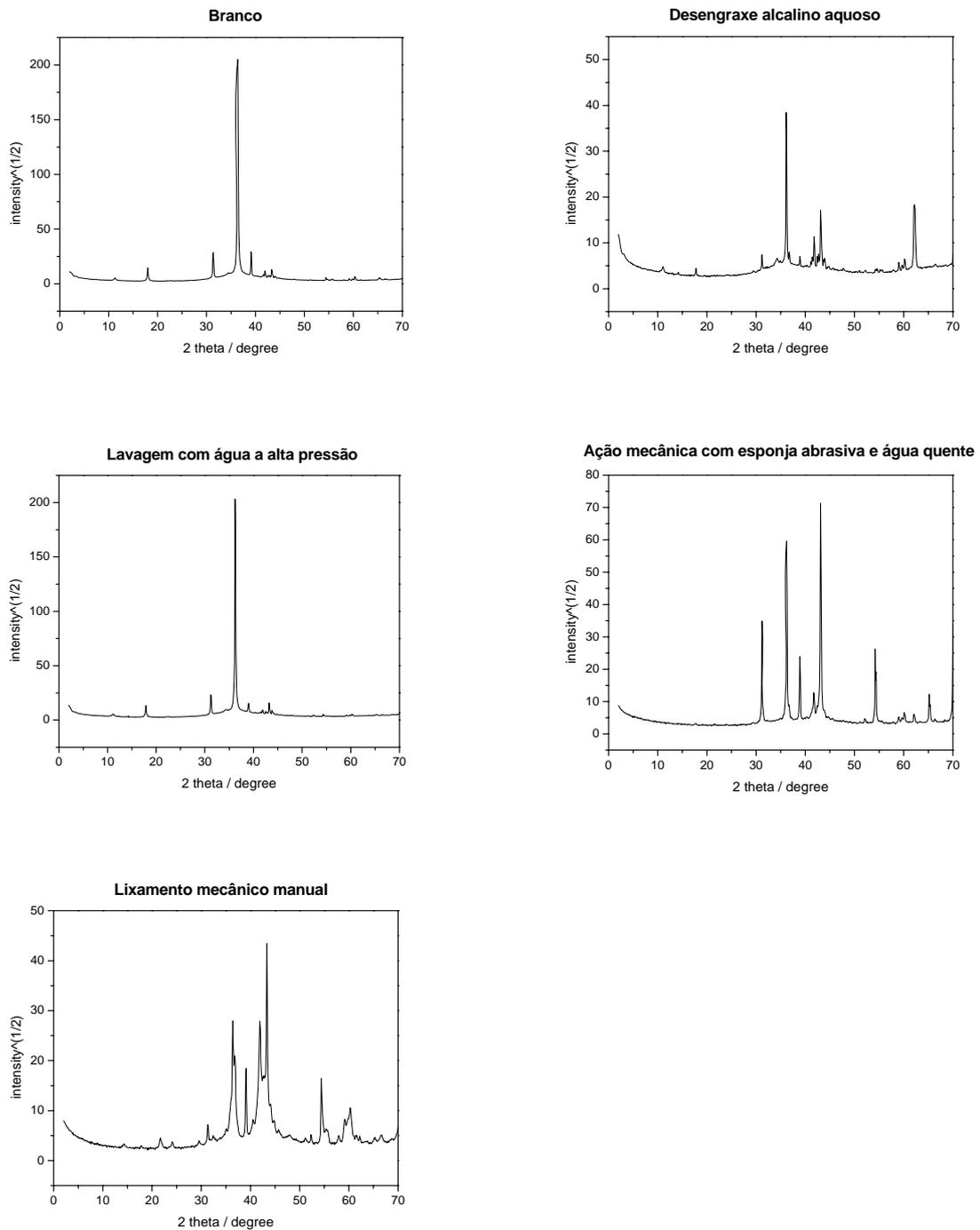


Figura 5 - Difratomogramas obtidos para o Lote I dos diferentes tratadas e não-tratadas.

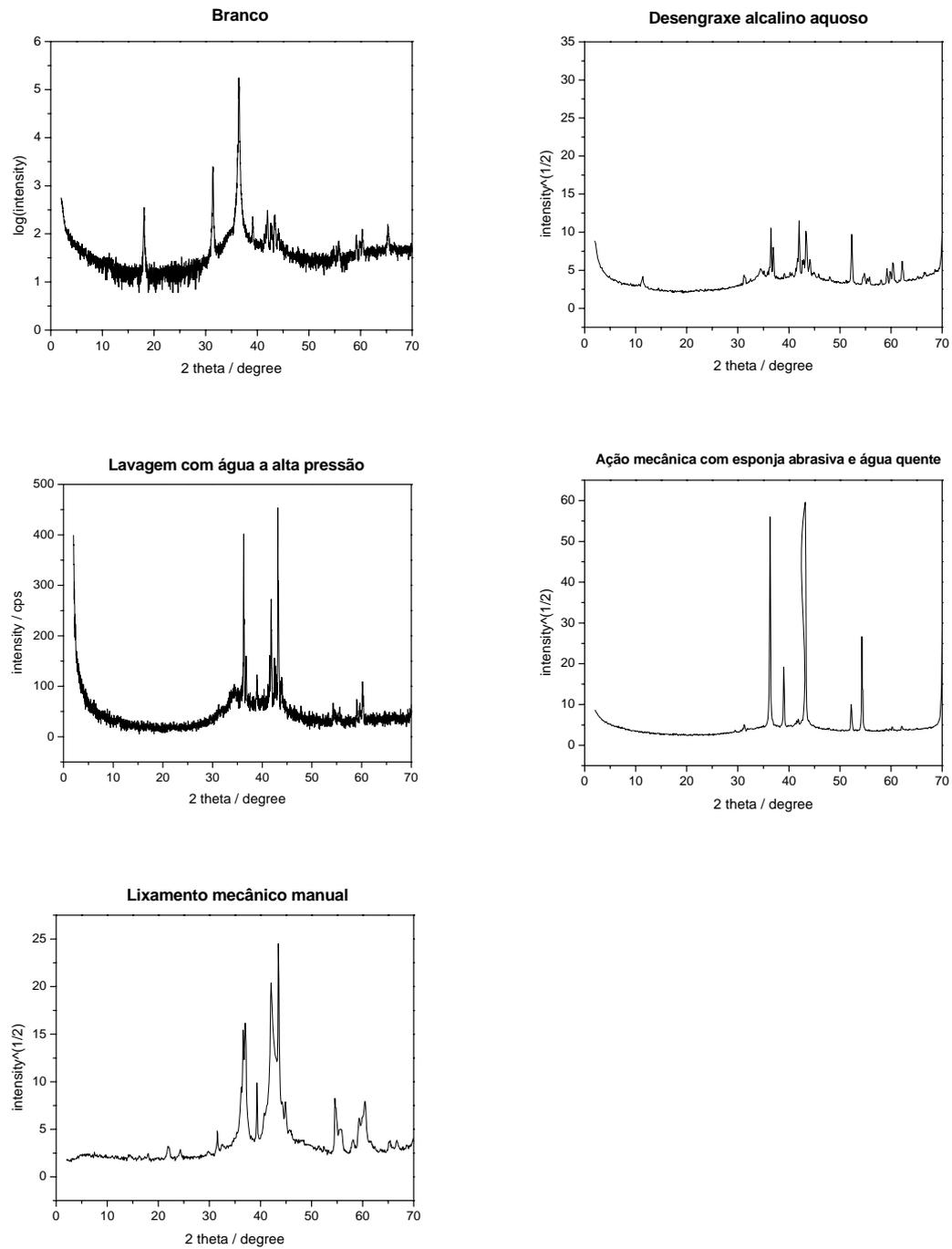


Figura 6 - Difratogramas obtidos para o Lote II dos diferentes tratadas e não-tratadas.

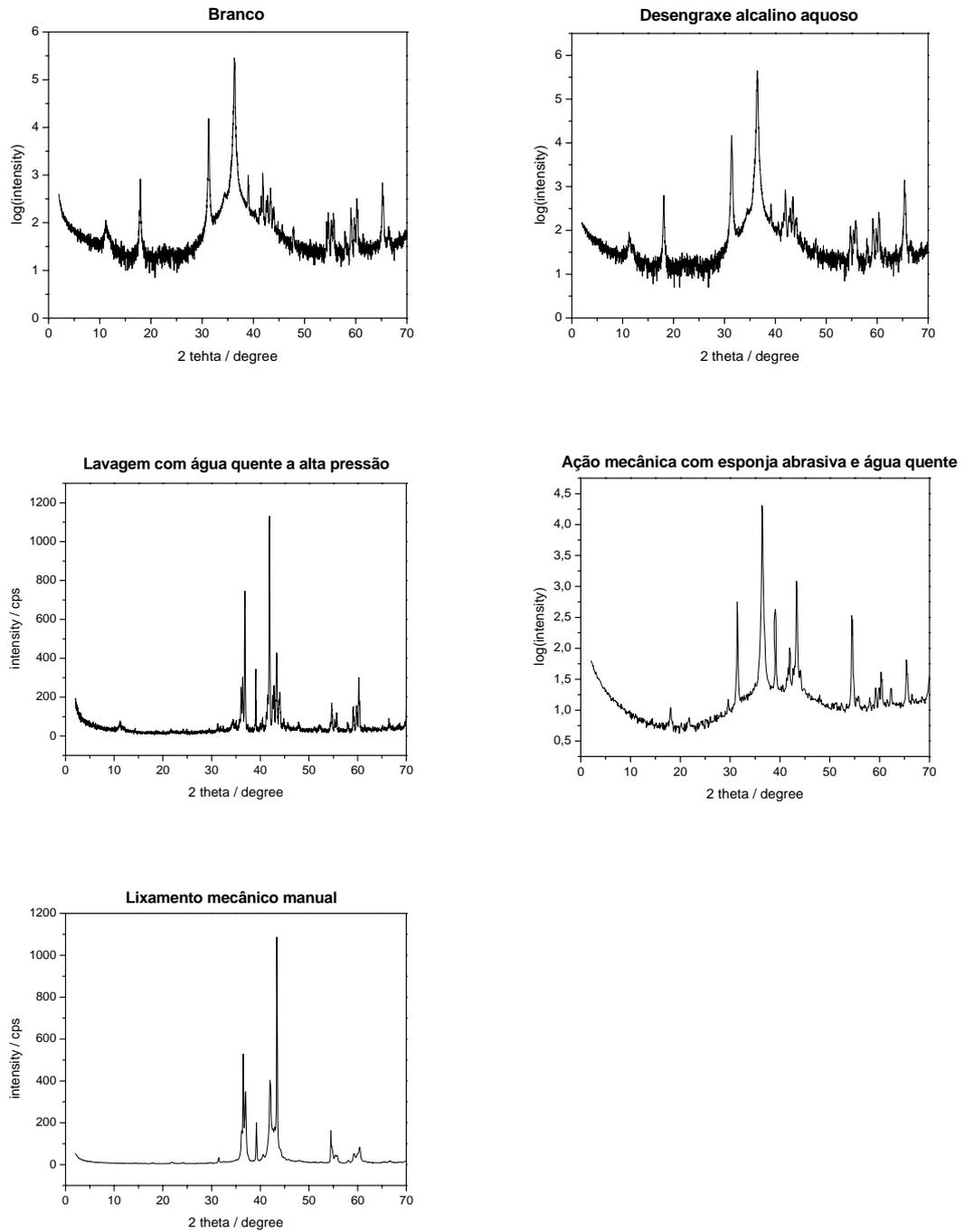


Figura 7 - Difratogramas obtidos para o Lote III dos diferentes tratadas e não-tratadas.

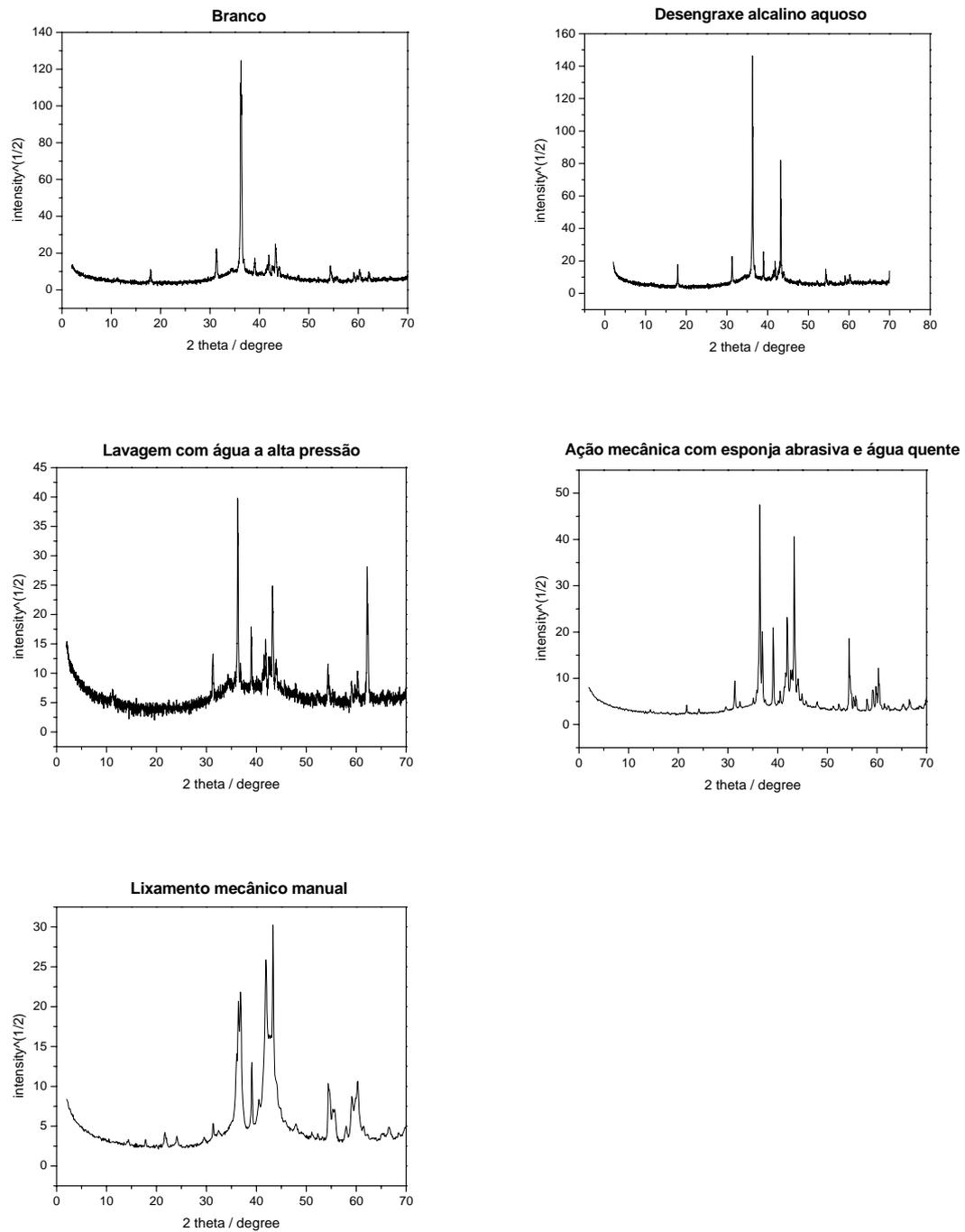


Figura 8 - Difratogramas obtidos para o Lote IV dos diferentes tratadas e não-tratadas.

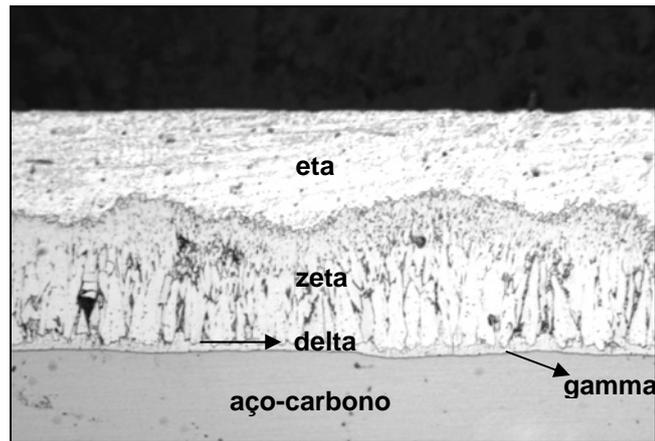


Figura 9 - Micrografia da seção transversal de um revestimento de zinco (Lote I - B) obtido por imersão a quente sobre o aço-carbono zincado. Aumento 200x.

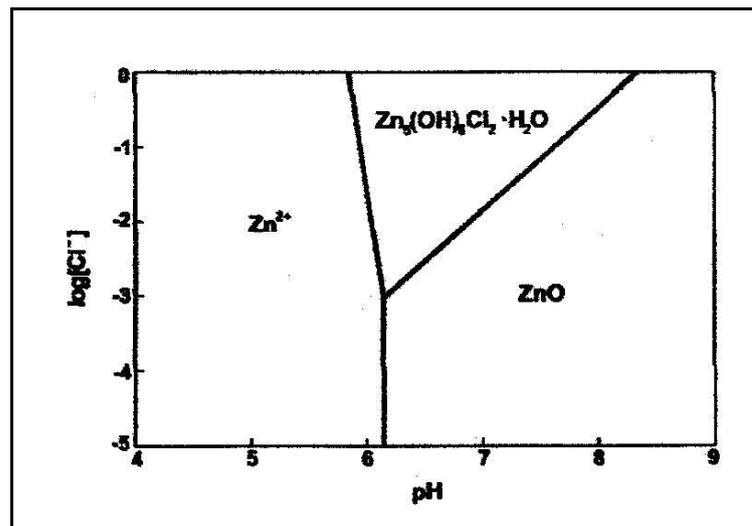


Figura 10 - Diagrama de estabilidade [Cl⁻] - pH da simonkolleita (9)