

ESTUDO DA POSSIBILIDADE DE CONTRÔLE DA QUALIDADE DE PLACAS DE AÇOS AO CARBONO COMUNS POR MEIO DE ULTRASSOM ⁽¹⁾

SYLVIO E. FRIEDRICH ⁽²⁾

RESUMO

O presente trabalho descreve os resultados do estudo efetuado para verificar a possibilidade de controle da qualidade de placas de aços ao carbono comuns por meio de ultrassom, na usina da Companhia Siderúrgica Nacional. Foram submetidas a exame placas de aços acalmado, semi-acalmado, capeado mecânicamente e efervescente, destinadas a chapas grossas e finas. Os resultados do estudo foram muito satisfatórios; mostraram que, na maioria dos casos, o exame com ultrassom permite uma verificação precisa das condições internas do aço.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se difundido grandemente o emprêgo do ultrassom para a verificação das condições internas de produtos laminados, forjados e fundidos de aço. Em quase todos os casos, o exame com ultrassom dá resultados muito bons, como se pode concluir consultando os trabalhos que têm aparecido sôbre o assunto nos últimos anos, entre os quais pode-se citar os de J. L. Pignet ¹, M. Palmé ², J. Pignet e E. de Kerversan ³, E. Martin e K. Werner ^{4, 5}, H. J. Kopineck e H. Hoff ⁶, H. J. Kopineck, H. Kraechter e W. Rauterkus ⁷, G. Beckmann ⁸, W. Grabendorfer e J. Krautkraemer ⁹, J. Krautkraemer ^{10, 11}, L. Beaujard e V. Husarek ¹².

O autor teve oportunidade de constatar pessoalmente os bons resultados que são obtidos no exame de laminados em diversas usinas da Alemanha Ocidental, onde estagiou em 1959.

(1) Contribuição Técnica n.º 399. Apresentada na Comissão «I» do XV Congresso Anual da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM; Engenheiro de Minas e Metalurgista. Sub-Chefe do Departamento de Pesquisas da Usina de Volta Redonda da Cia. Siderúrgica Nacional; Volta Redonda, RJ.

Na C. S. N. o ultrassom já está em uso há mais de dois anos no contróle rotineiro de peças da Fundição; é empregado igualmente no exame de eixos de vagões e também, esporadicamente, para testar peças variadas de diferentes partes da usina. Com o fim de verificar a possibilidade de adotar êsse exame para o contróle rotineiro da qualidade das placas, foi resolvida a realização do estudo que é descrito a seguir.

2. PROGRAMA DO ESTUDO

Foi programado fazer-se o exame das placas dos quatro tipos de aço que a usina produz correntemente, isto é, acalmado, semi-acalmado, capeado mecânicamente e efervescente, tomando-se as placas de 5 lingotes por corrida, de várias corridas diferentes. (*) Entre as peças examinadas foram incluídas placas de lingotes sabidamente portadores de prováveis defeitos internos, para que os resultados fôsem bem expressivos. A qualidade interna das placas citadas neste trabalho não deve, pois, ser considerada como representativa da qualidade média das placas da C. S. N.

O exame foi realizado aplicando-se o cabeçote na face superior da placa deitada, e deslocando-se-o continuamente ao longo de linhas normais à direção de laminação, distantes 10 cm de cada extremidade e, na parte central, separadas entre si de 50 cm, como mostra a figura 1. A distância entre a penúltima e a última linhas deveria variar em tôrno de 50 cm, um pouco mais ou menos, conforme o comprimento das placas.

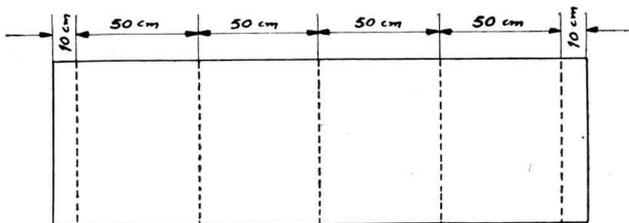


Fig. 1 — Desenho ilustrativo do modo como foi feito o exame das placas pelo ultrassom. O cabeçote foi aplicado ao longo das linhas pontilhadas. O desenho representa uma placa vista de cima.

(*) Isso no caso de aço dos fornos Siemens-Martin, de 200 t/corrida, em que cada corrida dá 21 a 30 lingotes. As corridas do forno elétrico dão apenas 1 lingote cada uma.

Para registrar as indicações do aparelho foi adotada a convenção reproduzida na figura 2, sendo usados os algarismos desde 0 até 5 para representar seis diferentes situações. De acôrdo com essa convenção, quanto maior o número maior será a área do defeito ou descontinuidade interna que refletiu o ultrassom, perturbando ou mesmo impedindo inteiramente o trajeto das ondas ultra-sônicas até o lado oposto da peça. No presente estudo foram usados cabeçotes com lâmina de quartzo de 24 mm de diâmetro, o que significa que a propagação das

Nº representativo	Indicação correspondente do aparelho	
0		Nenhum reflexo intermediário.
1		Parte das ondas, até 1/4 da intensidade do reflexo total, reflete-se em descontinuidades internas.
2		Idem até 1/2 da intensidade do reflexo total.
3		Idem até 3/4 da intensidade do reflexo total.
4		Um reflexo intermediário possui intensidade igual ou superior ao reflexo da face inferior.
5		O ultra-som é totalmente refletido por descontinuidades internas, não havendo reflexo algum da face inferior.

Fig. 2 — Convenção adotada para registrar as indicações dadas pelo aparelho de ultrassom.

ondas ocorre aproximadamente dentro de um feixe cilíndrico de diâmetro igual a 24 mm, normal à superfície testada. Pode-se imaginar facilmente que os reflexos intermediários de fraca intensidade, por exemplo n.^{os} 1 e 2, são provocados por defeitos que ocupam área bastante pequena em comparação com a área de um círculo de 24 mm de diâmetro, e que um defeito que reflete totalmente o ultrassom (caso da indicação n.^o 5) ocupa uma área pelo menos igual à do círculo em questão.

Para decidir corretamente sobre a gravidade das indicações do aparelho no exame de placas, é necessário levar em conta não só a intensidade dos reflexos intermediários como também a área total que eles abrangem.

3. APARELHO USADO

Para o estudo foi utilizado um aparelho de fabricação "Dr. J. u. H. Krautkraemer, Gesellschaft fuer Elektrophysik", de Colôna, do tipo USIP 9. Os cabeçotes empregados foram de 2 e 4 Mc/s, do tipo emissor-receptor, com a lâmina de quartzo protegida por um disco de material plástico, por ser a superfície das placas bastante áspera. Como meio de contacto foi empregada água, aplicada sobre as placas por intermédio de um pincel.

O exame foi feito, sempre que possível, com cabeçote de 4 Mc/s, cujas ondas permitem detectar com mais clareza os defeitos presentes nas placas. Nos casos em que foi notada absorção forte foi empregado cabeçote de 2 Mc/s, com o qual sempre foi possível a obtenção de reflexos. Esse cabeçote, contudo, dá somente indicação de defeitos mais grosseiros, devido ao fato de o comprimento de onda do ultrassom por ele emitido ser da ordem de 3 mm (o dobro do das ondas do cabeçote de 4 Mc/s), de modo que defeitos com tamanho inferior a essa medida, via de regra, não são acusados pelo aparelho.

Não serão dados maiores detalhes do aparelho, e também não serão abordados os princípios em que se baseia, porque isso já foi feito em outros trabalhos publicados no país, como os de L. X. Nepomuceno¹³ e M. M. Zanella¹⁴.

4. RESULTADO DO ESTUDO

Foram examinadas ao todo 195 placas pertencentes a 29 diferentes corridas de vários tipos de aço, como é indicado a seguir:

a)	Aço acalmado do tipo AISI C 1035	13 placas de 5 corridas
	Aço acalmado do tipo AISI C 1045	22 placas de 8 corridas
b)	Aço semi-acalmado do tipo AISI C 1015 .	10 placas de 1 corrida
	Aço semi-acalmado do tipo AISI C 1020 .	34 placas de 3 corridas
c)	Aço extra-doce de lingoteira-garrafa	49 placas de 5 corridas
d)	Aço extra-doce efervescente	67 placas de 7 corridas

Para correlacionar as indicações do aparelho com o aspecto interno do aço, foram cortadas amostras de diversas placas, abrangendo sempre toda a largura das peças, sendo as mesmas, após preparo de uma das faces, submetidas a ataque macrográfico em solução aquosa de ácido clorídrico (50%) a quente.

Placas de aço acalmado — As placas de aço acalmado, como era esperado, foram as que deram melhores indicações, o que se deve ao fato de esse tipo de aço ser normalmente compacto e homogêneo, isento de vazios e segregação acentuados, que só costumam ocorrer no tampo da placa que corresponde à parte superior do lingote.

Nas folhas anexas I e II são reproduzidos os dados que o aparelho acusou no exame de 35 placas de 13 diferentes lingotes (cada lingote constituindo uma corrida inteira) de aços acalmados dos tipos AISI C 1035 e C 1045, elaborados em forno elétrico, e todas destinadas a chapas finas laminadas a quente. Todas as placas foram examinadas com cabeçote de 4 Mc/s, obtendo-se indicações muito claras do aparelho.

O lingote da corrida A-1 deu 3 placas. No tampo da placa 1 houve indicações localizadas n.ºs 2, 3, 4 e 5, demonstrando que o descarte deixou algumas impurezas. A partir de 2 m do tampo o aço não acusou mais nada, o mesmo ocorrendo em quase toda a extensão da placa 2, em cuja base aparecem 3 indicações n.º 1. A placa 3 apresenta, em toda a extensão, indicações esparsas n.ºs 1, 2 e 3, mostrando a presença de inclusões de pequeno tamanho, porém distribuídas por toda a placa. Do tampo da placa 3 foi cortada uma amostra abrangendo toda a largura. A figura 3 mostra uma foto dessa amostra após ataque macrográfico, revelando que, no local examinado, a placa apresenta inclusões esparsas e de pequena largura. Nota-se a

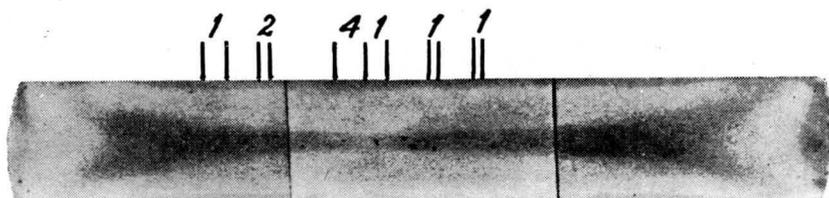


Fig. 3 — Macrografia da seção transversal do topo da placa 3 da corrida A-1. Os números representam as indicações do aparelho de ultrassom, obtidas com cabeçote de 4 Mc/segundo.

presença de uma estreita faixa central com segregação, faixa essa que se alarga e se bifurca próximo às duas bordas. A verificação feita com ultrassom nessa amostra no laboratório, após o ataque com solução ácida, isto é, a superfície de contacto com o cabeçote estando bem limpa, acusou o que está indicado na foto. Pode-se notar que as indicações do aparelho, tanto na placa bruta como na amostra, são bastante semelhantes.

O lingote da corrida A-2 deu só 2 placas. Pode-se ver que o aparelho indicou defeitos apenas a 10 e a 60 cm do tampo da placa 1, acusando um ligeiro resto de bolsa de contração, nada mais tendo sido notado até a base da placa 2.

O lingote da corrida A-3 deu também só duas placas. Na placa 1 o aparelho acusou indicações 1, 2 e 4 (estas últimas em maioria), e sua distribuição na metade superior da peça mostra que se trata de resto de bolsa de contração. Na parte inferior da placa 1, assim como em toda a placa 2, o aparelho nada acusou. Do tampo da placa 1 foi cortada uma amostra, a qual é reproduzida na figura 4, após ataque micrográfico. As indicações do aparelho na verificação feita no laboratório, as quais estão anotadas sobre a amostra na figura, são bastante semelhantes às obtidas na placa bruta nessa região, podendo-se ver que há defeitos internos bastante sérios no material, confirmando, aliás, as indicações do ultrassom.

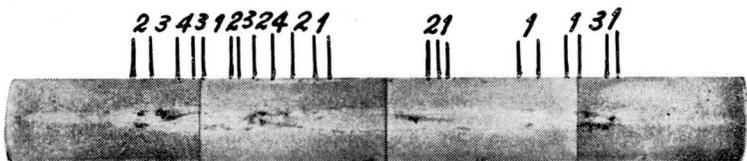


Fig. 4 — Macrografia da secção transversal do topo da placa 1 da corrida A-3. Os números correspondem às indicações obtidas com o cabeçote de 4 Mc/segundo.

O lingote da corrida A-4 resultou em 3 placas. A placa 1 acusou, desde o tampo até uma distância de 1,60 m, indicações n.ºs 1 a 3, ocupando toda a parte central. Logo abaixo há uma área alongada, de 0,15 a 0,20 m de largura por 1,40 m de comprimento, sobre a qual o aparelho deu indicações 4 e 5. Trata-se, certamente, de uma bolsa de contração secundária, que ficou semelhante a uma grande bôlha após a laminação. Nos

restantes 85 cm da placa o aparelho nada acusou, o mesmo ocorrendo nas placas 2 e 3.

O lingote da corrida A-5 deu 3 placas. Na placa 1 o aparelho acusou muitas indicações n.ºs 1, 2, 3 e 4, mais concentradas no tampo e na base. A placa 2 deu algumas indicações esparsas 1, 2 e 4, e finalmente na placa 3 o aparelho nada registrou na parte superior, começando a aparecer a 1,10 m do tampo indicações esparsas 1, 2 e 3, as quais ocorreram desde aí até a base da placa. Do tampo da placa 1 foi cortada uma amostra, a qual pode ser vista na figura 5, depois do ataque macrográfico. Também neste caso pode-se dizer que as indicações que o aparelho deu na placa bruta e na amostra limpa são bastante semelhantes, e, como era esperado pelas indicações obtidas na placa, a macrografia acusou a presença de defeitos sérios na parte central da secção.

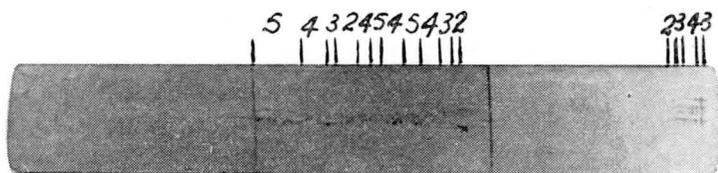


Fig. 5 — Macrografia da secção reta do topo da placa 1 da corrida A-5, tendo sido anotadas as indicações obtidas com cabeçote de 4 Mc/segundo.

O lingote da corrida A-6 deu 3 placas. No exame com ultrassom o aparelho acusou apenas uma indicação 4 na parte central inferior da placa 1, e algumas poucas indicações 1, 2 e 3 na parte central inferior da placa 2, nada acusando na placa 3.

O lingote da corrida A-7 resultou em 3 placas. A placa 1 deu 3 indicações n.ºs 1 e 2 no tampo, e mais 5 indicações n.ºs 1, 2, 4 e 5 na parte central inferior. A placa 2 nada acusou, enquanto que a placa 3 deu 3 indicações esparsas n.º 1.

O lingote da corrida A-8 deu apenas 1 placa, a n.º 3, já que 8 m do tampo foram sucataados na tesoura do desbastador devido a bôlsa. Essa placa nada acusou no aparelho ao ser examinada.

O lingote da corrida A-9 resultou em 3 placas. Na placa 1 o aparelho deu seis indicações esparsas n.ºs 1 a 4 na metade

superior, na placa 2 houve apenas uma indicação n.º 2 no tampo e duas n.º 1 próximas à base, e finalmente na placa 3 o aparelho nada acusou.

O lingote da corrida A-10 deu 3 placas. O aparelho acusou apenas 3 indicações n.ºs 1 e 3 na parte central da placa 1, nada acusando nas placas 2 e 3.

O lingote da corrida A-11 deu 3 placas. Apenas na parte superior da placa 1 ocorreram três indicações n.º 1, nada acusando o aparelho nas placas 2 e 3. Do tampo da placa 2 foi cortada uma amostra para se observar as condições internas do aço. A figura 6 reproduz o aspecto da secção reta da placa

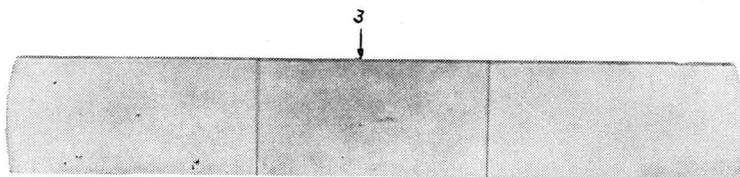


Fig. 6 — Vista da secção reta do topo da placa 2 da corrida A-11, após ataque macrográfico. A indicação anotada corresponde à verificação feita com cabeçote de 4 Mc/segundo.

após ataque macrográfico. Vê-se no centro uma região mais atacada pelo ácido, sobre a qual, no entanto, o aparelho não deu qualquer indicação. Um exame mais minucioso demonstrou tratar-se de uma zona com forte segregação, não havendo nela inclusões ou vazios. Um pouco para o lado esquerdo nota-se uma pequena inclusão, sobre a qual o aparelho deu uma indicação n.º 3.

O lingote da corrida A-12 resultou em 3 placas. O aparelho acusou apenas uma indicação n.º 1 na parte central superior da placa 1, nada acusando nas placas 2 e 3.

Finalmente, o lingote da corrida A-13 deu também 3 placas. A placa 1 acusou indicações n.ºs 1, 2, 3, 4 e 5, predominando as de n.ºs 4 e 5 numa faixa central de cerca de 0,15 m de largura, começando no tampo e prolongando-se por 1,60 m. Um pouco mais para baixo houve ainda quatro indicações n.ºs 1 e 2, e na parte inferior o aparelho nada revelou. A placa 2 apresentou-se isenta de indicações, e o mesmo ocorreu com a metade superior da placa 3. Na metade inferior dessa

peça o aparelho voltou a dar diversas indicações n.ºs 1 a 3, bastante agrupadas próximas à base. Da placa 1 foi cortada uma amostra distando cêrca de 0,80 m do tópo. A figura 7 revela a secção reta após ataque macrográfico, podendo-se ver que as indicações obtidas na verificação feita no laboratório são bastante semelhantes às que deu a placa bruta, e que na parte central da peça havia um resto de bôlsa bastante grande, como deixavam prever as indicações obtidas na placa.

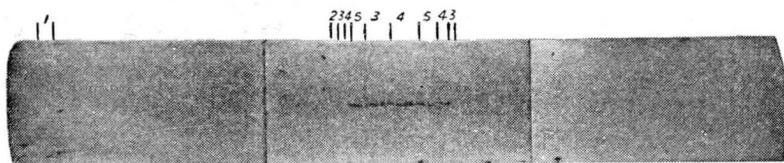


Fig. 7 — Macrografia da secção reta da amostra da placa 1 da corrida A-13. Os números representam as indicações obtidas com cabeçote de 4 Mc/segundo.

Em resumo, pode-se dizer que as placas de aço acalmado responderam com indicações muito claras ao exame com ultrassom e que essas placas podem ter sua qualidade interna perfeitamente controlada por exames rotineiros ultrassônicos.

Placas de aço semi-acalmado — Foram examinadas ao todo 44 placas de aço semi-acalmado pertencentes a 4 diferentes corridas, tôdas destinadas a chapas grossas. As fôlhas anexas III a VI reproduzem as indicações do aparelho.

Da corrida B-1 foram testadas as placas dos lingotes 8 a 12 (duas placas por lingote). A fôlha anexa n.º III mostra o que indicou o aparelho. (*) Pode-se ver que na parte superior das placas 1 de todos os lingotes houve indicações esparsas e que apenas na do lingote 10, a 1,10 m do tópo, e na do lingote 12, a 0,10 m do tópo, o ultrassom acusou defeitos mais sérios. Na parte restante das placas 1, assim como na totalidade das placas 2, o aparelho deu apenas indicações fracas. Deve-se notar que essas indicações são localizadas, em sua gran-

(*) Para não tornar demasiadamente extensa a presente publicação, foram suprimidas as fôlhas anexas III, V, VII, VIII, XI, XII, XIV e XV, sendo mantidas apenas aquelas julgadas indispensáveis. Aos possíveis interessados, o Autor terá prazer em mostrar não só essas fôlhas, como também muitos outros exemplos de exames executados na Usina da Cia. Siderúrgica Nacional.

de maioria, próximas às bordas, sendo causadas por defeitos externos das bordas das placas, defeitos êsses que a escarificação costuma remover.

Da corrida B-2 foram examinadas igualmente as placas dos lingotes n.ºs 8 a 12 (duas placas por lingote). Vê-se, pelos dados da fôlha anexa IV, que na parte superior das placas 1 houve indicações um tanto sérias, especialmente nas dos lingotes 8, 10 e 11. Afóra isso, todo o restante do material, inclusive as placas 2, nada acusou. Deve ser esclarecido, contudo, que em tôdas as placas ocorreu absorção forte, às vêzes total, do ultrassom. Do tôpo das placas 1 dos lingotes 9 e 11 foram cortadas amostras para exame. As figuras 8 e 9 revelam as

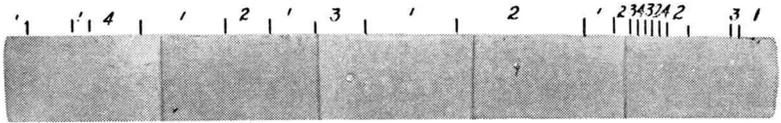


Fig. 8 — Macrografia da amostra do topo da placa 1, lingote 9 da corrida B-2. Os números traduzem as indicações obtidas com cabeçote de 4 Mc/segundo.



Fig. 9 — Secção reta do topo da placa 1, lingote 11 da corrida B-2. Indicações obtidas com cabeçote de 4 Mc/segundo.

macrografias dessas amostras, podendo-se ver as indicações confirmatórias do aparelho, obtidas no laboratório, as quais são bastante mais sérias do que as obtidas nas placas brutas, em que a carepa prejudicou consideravelmente a penetração do ultrassom. As duas macrografias revelam que o aço apresenta grande quantidade de pequenas inclusões e cavidades não caldeadas, distribuídas mais ou menos uniformemente por tôda a secção transversal. Na figura 10 é reproduzido com maior aumento o pedaço n.º 2 da amostra da figura 8, dando uma melhor idéia do seu aspecto. Deve-se notar que ambas as amostras foram cortadas do tôpo das placas n.º 1, o que corresponde à parte superior dos lingotes respectivos.

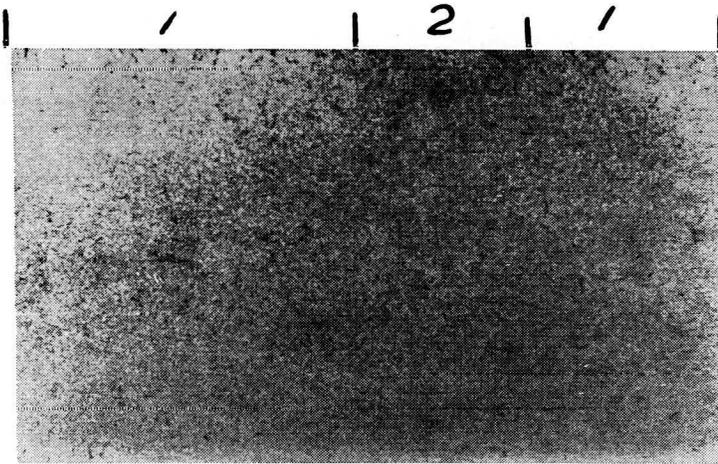


Fig. 10 — Reprodução em maior tamanho do pedaço N.º 2 da amostra da figura 8. Tamanho: 0,5 ×.

Da corrida B-3 foram testadas as placas dos lingotes 10 a 14 (3 placas por lingote). A fôlha anexa V dá as indicações do aparelho. Essas amostras foram examinadas com cabeçote de 2 Mc/s de frequência de onda, e não com de 4 Mc/s, devido à pouca penetração que foi conseguida com este último, motivada talvez pela carepa presente na superfície. As indicações obtidas foram um tanto variadas para os diferentes lingotes. Assim, no lingote 10 a placa 1 acusou muitas indicações 1 a 3 ao longo de toda a sua extensão, a placa 2 acusou apenas indicações 1 bastante esparsas, e a placa 3 deu só 2 indicações, n.ºs 2 e 4, na extremidade superior. No lingote 11 houve indicações apenas na placa 1, nada acusando as duas outras. Aquela deu indicações bastante concentradas na metade superior, inclusive várias de n.º 4. Do lingote 12 só as placas 1 e 3 deram indicações esparsas no topo. Do lingote 13 apenas a placa 1, na parte superior, acusou 4 indicações n.ºs 1, 2 e 4. Finalmente, do lingote 14 todas as 3 placas deram algumas poucas e esparsas indicações n.ºs 1 e 2.

Da corrida B-4 foram examinadas as placas dos lingotes 11 a 13 (3 placas por lingote), sendo usado novamente cabeçote de 2 Mc/s, por causa da absorção forte que acusava o de 4 Mc/s. A fôlha anexa VI reproduz as indicações obtidas. Do lingote 11 só a placa 1, em sua parte superior, deu indicações. Essas indicações são concentradas e de certa intensidade. Do lingote 12 foram obtidas 6 indicações esparsas na

parte central da placa 1, e uma indicação na placa 2. Finalmente, do lingote 13 também só a placa 1, em sua metade superior, acusou indicações esparsas.

Resumindo os resultados do exame de placas de aço semi-acalmado, pode-se dizer que as indicações são menos precisas do que as obtidas com placas de aço acalmado. É freqüente a ocorrência de absorção mais ou menos forte do ultrassom por essas placas, causada pelas inclusões e porosidade, mais ou menos bem distribuídas por toda a massa, que o aço semi-acalmado costuma apresentar. Essa absorção torna difícil o exame com cabeçote de 4 Mc/s, obrigando ao uso também do de 2 Mc/s, que tem maior poder de penetração, porém dá indicações menos claras. Devido ao fato de terem sido cortadas apenas duas amostras dessas placas para exame macrográfico, não é possível tirar conclusões muito precisas sobre os exames feitos com o ultrassom. Tudo indica, no entanto, que o estudo de um maior número de placas permitirá estabelecer bases seguras para o exame rotineiro desse tipo de aço.

Placas de aço capeado mecanicamente — Foram examinadas 49 placas de 5 corridas diferentes de aço capeado mecanicamente, vazado em lingoteiras do tipo garrafa, todas destinadas a fôlhas de flandres.

Nas fôlhas anexas VII a XI são reproduzidos os dados do aparelho de ultrassom. Em todos os casos os lingotes deram duas placas.

Da corrida C-1 foram testadas as placas dos lingotes 8 a 12. O exame foi feito com cabeçote de 2 Mc/s, porque com o de 4 Mc/s ocorreu absorção muito forte do ultrassom. Nas 9 placas examinadas ocorreram somente algumas poucas indicações esparsas, as mais sérias sendo na placa 1 do lingote 9, onde houve uma pequena área que deu indicações n.º 4, indício quase certo de uma grande inclusão isolada.

Da corrida C-2 foram examinadas as placas dos lingotes 10 a 14. O teste foi feito com cabeçote de 4 Mc/s, sendo de notar a forte absorção que ocorreu ao longo da quase totalidade da parte central das peças.

Da corrida C-3 foram testadas igualmente as placas dos lingotes 10 a 14. Neste caso foi usado cabeçote de 2 Mc/s, devido à forte absorção que acusava o de 4 Mc/s. Das placas 2 apenas duas, as dos lingotes 10 e 12, deram algumas raras indicações n.º 1 próximas à extremidade inferior. Para correlacionar as indicações do aparelho com o aspecto interno do aço foi retirada uma amostra do topo da placa 2 do lingote 10

e outra do tampo da placa 1 do lingote 12, as quais são mostradas nas figuras 11 e 12. Pode-se ver que as indicações obtidas na verificação feita no laboratório são concordantes com as que o aparelho deu nas placas brutas, e que as peças apresentam aspecto interno muito bom, normal para esse tipo de aço, mesmo no caso da amostra da placa 1 do lingote 12.

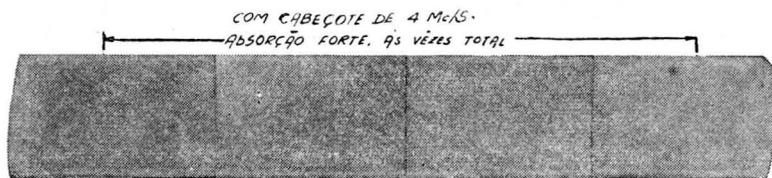


Fig. 11 — Seção reta do topo da placa 2, lingote 10 da corrida C-3, após ataque macrográfico. Com cabeçote de 2 Mc/segundo, a amostra nada acusou no laboratório.

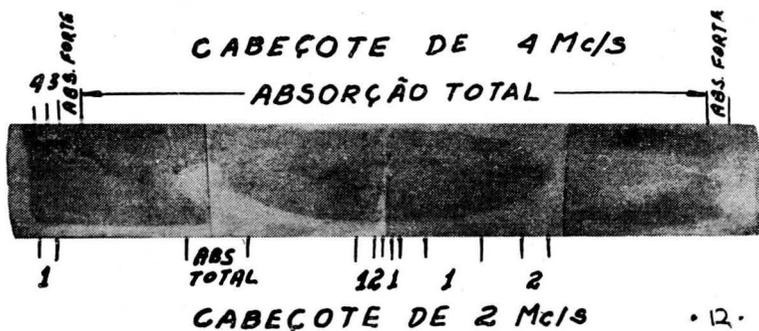


Fig. 12 — Seção reta do topo da placa 1, lingote 12 da corrida C-3, após ataque macrográfico.

Da corrida C-4 foram examinadas as placas dos lingotes 10, 12, 13, 14, e 23, sendo novamente empregado cabeçote de 2 Mc/s, devido à forte absorção que ocorreu com o de 4 Mc/s. Pode-se ver que o aparelho acusou apenas indicações n.º 1 em tôdas as placas, as quais são mais freqüentes e agrupadas nas placas 2 do lingote 10 e 1 e 2 do lingote 13.

Finalmente, da corrida C-5 foram testadas as placas dos lingotes 10 a 14, o que foi feito de novo com cabeçote de 2 Mc/s por causa da absorção. Nas placas 2 o aparelho nada acusou, enquanto que em tôdas as placas 1 houve algumas poucas indicações esparsas, tôdas n.º 1, exceto na do lingote 14, onde foram até n.º 3.

Em resumo, verificou-se que no exame de placas provenientes de lingotes vazados em lingoteiras do tipo garrafa ocorre uma absorção muito forte do ultrassom pelo aço quando é usado cabeçote de 4 Mc/s, absorção essa que deve ser provocada pela porosidade e pela grande quantidade de pequenas inclusões que esse tipo de aço apresenta normalmente, distribuídas uniformemente por quase toda a massa. Já com cabeçote de 2 Mc/s a absorção é pequena e as indicações obtidas, até onde foi comprovado, foram precisas, apesar de as ondas por ele emitidas terem maior comprimento, o que o impede de detectar defeitos muito pequenos.

Placas de aço efervescentes — Foram submetidas a exame 67 placas de 7 corridas diferentes de aço efervescente extradoce, todas destinadas a chapas finas laminadas a frio. As folhas anexas XII a XVIII reproduzem as indicações obtidas com o aparelho de ultrassom. Em todos os casos cada lingote resultou em duas placas.

Da corrida D-1 foram testadas as placas dos lingotes 10 a 14, sendo usado cabeçote de 4 Mc/s. Com exceção da placa 1 do lingote 10 que deu apenas uma indicação n.º 1 na parte superior, todas as demais acusaram indicações mais ou menos numerosas, variando desde 1 até 5, algumas espalhadas, outras agrupadas.

Da corrida D-2 foram examinadas igualmente as placas dos lingotes 10 a 14, com cabeçote de 4 Mc/s. Nas placas dos lingotes 10 e 11 houve algumas indicações n.ºs 1 a 4 e 1 a 3 no topo das placas 1, e também algumas indicações n.ºs 1 a 4 próximas à base das placas. Do lingote 12 a placa 1 nada acusou, e a placa 2 deu apenas duas indicações n.ºs 2 e 3 na parte inferior. Do lingote 13 a placa 1 igualmente não acusou nada, e a placa 2 deu quatro indicações n.º 1 esparsas. Finalmente, do lingote 14 a placa 1 deu indicações n.º 5 numa área de cerca de 0,40 m de largura por 0,80 m de comprimento próxima ao topo, e mais duas indicações isoladas n.ºs 1 e 2, enquanto a placa 2 acusou apenas uma indicação n.º 1 na parte inferior. Nessa placa foi notada forte absorção do ultrassom em sua parte central. Em outras placas dessa corrida também ocorreu absorção no centro, pouco forte, porém. Das placas 1 dos lingotes 12 e 14 foram cortadas amostras, as quais são reproduzidas nas figuras 13 e 14, após ataque macrográfico. Pode-se ver que a amostra do lingote 12 confirmou no laboratório o resultado que deu a placa bruta, não tendo acusado a não ser uma certa absorção na parte central (zona de segregação). A fotografia dá impressão que há uma zona de grandes inclusões, dispostas segundo uma linha na parte central, mas na verdade aquela estreita faixa

é formada por manchas da secagem. Também a amostra do lingote 14 confirmou no laboratório o resultado obtido na placa, e mostrou a presença de uma grande bôlha na região em que o aparelho deu indicações n.º 5.



Fig. 13 — Seção reta do topo da placa 1, lingote 12 da corrida D-2, após ataque macrográfico. Na verificação feita no laboratório com cabeçote de 4 Mc/segundo. O aparelho acusou apenas certa absorção na parte central.

Da corrida D-3 foram testadas as placas dos lingotes 15 a 16 com cabeçote de 2 Mc/s, devido à forte absorção que ocorreu com o de 4 Mc/s. De um modo geral predominaram as indicações n.º 1, numerosas em algumas placas e raras em outras, sendo que a placa 2 do lingote 16 foi a única que nada acusou.

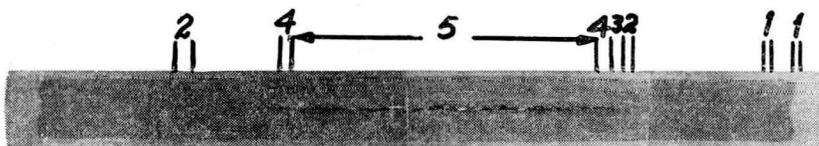


Fig. 14 — Seção reta da amostra da placa 1, lingote 14 da corrida D-2, após ataque macrográfico. Os números referem-se às indicações obtidas com cabeçote de 4 Mc/segundo.

Da corrida D-4 foram examinadas as placas dos lingotes 10 a 14, com cabeçote de 4 Mc/s. Pode-se ver que ocorreram indicações em tôdas as placas, mais numerosas e fortes nas n.º 2, com tendência de concentração no tôpo das placas n.º 1 e na base das placas n.º 2.

Da corrida D-5 foram testadas igualmente as placas dos lingotes 10 a 14, também com cabeçote de 4 Mc/s. Nota-se que, com exceção das placas do lingote 13, as indicações se localizam mais no tôpo das placas n.º 1 e na base das placas n.º 2. Também há muitas indicações junto às bordas, e essas nada indicam sôbre a qualidade interna na maioria dos casos. As duas placas do lingote 13 apresentaram indicações bastante diferentes das dos outros lingotes, pois, começando na base da

placa 1 e continuando por quase tôda a placa 2, ocorreram numerosas indicações desde 1 até 4. Do tôpo da placa 2 do lingote 10 foi cortada uma amostra, que pode ser vista na figura 15 após ataque macrográfico. O aspecto da secção é perfeitamente normal para aço efervescente, nada havendo que possa ser taxado de defeito, como, aliás, era esperado pelo resultado do exame da placa bruta.



Fig. 15 — Secção reta correspondente ao topo da placa 2 do lingote 10 da corrida D-5; cabeçote de 4 Mc/segundo.

Da corrida D-6 foram submetidas a exame as placas dos lingotes 8 a 12, sendo usado cabeçote de 2 Mc/s. O fato mais interessante que ocorreu com essas placas foi a constatação da presença de bôlhas grandes nas placas n.º 1 dos lingotes 9, 11 e 12, sendo que a do lingote 9 era enorme, de cêrca de 0,60 m de largura por 2,20 m de comprimento. Afora isso nota-se a tendência de aparecerem indicações na base das placas n.º 2. Da placa 1 do lingote 9 foi cortada uma amostra abrangendo justamente o centro da presumida bôlha. A figura 16 reproduz essa amostra após ataque macrográfico, estando anotadas as indicações obtidas na verificação feita no laboratório, que são semelhantes às que deu a placa bruta, tendo a amostra confirmado a presença de uma grande bôlha, como era esperado.

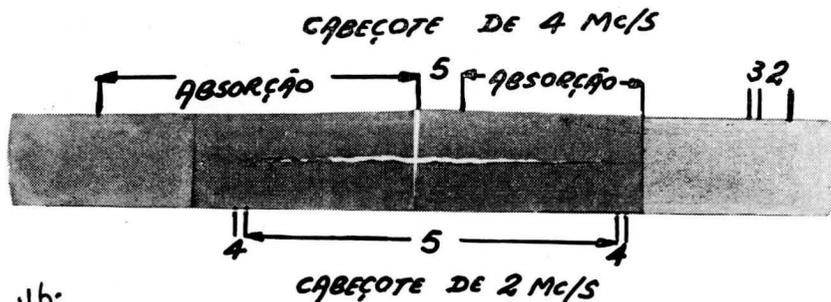


Fig. 16 — Secção transversal da amostra cortada da placa 1, lingote 9 da corrida D-6, após ataque macrográfico. As indicações anotadas foram obtidas no laboratório.

5. CONCLUSÕES

1. O estudo realizado demonstrou não só que é perfeitamente possível fazer um bom controle da qualidade interna de placas de aços ao carbono comuns (dos tipos acalmado, semi-acalmado, capeado mecânicamente e efervescente), por meio de ultrassom, mas também que um tal controle pode ser executado com relativa facilidade.

2. O exame com ultrassom mostrou ser o primeiro ensaio que permite uma verificação não destrutiva tão fácil e tão perfeita das condições internas do aço na forma de placas, sendo de esperar que, com seu emprego sistemático, melhorias sensíveis de qualidade e mesmo aumentos de rendimento possam ser obtidos, pois as informações prontas que fornece possibilitam introduzir com rapidez as modificações necessárias ao aprimoramento dos processos de elaboração, vazamento, lingotamento e laminação primária do aço.

3. As placas de aço acalmado foram as que deram indicações mais claras e precisas, o que era esperado porque esse tipo de aço, a não ser na parte que corresponde ao topo do lingote, é normalmente isento de vazios e zonas de segregação acentuada.

4. As placas de aço semi-acalmado dão indicações menos claras do que as de aço acalmado, devido principalmente à forte absorção do ultrassom que nelas costuma ocorrer. No entanto, um estudo mais profundo deve fornecer bases seguras para o exame desse tipo de aço.

5. As placas de aço capeado mecânicamente, de lingoteira-garrafa, também provocam uma absorção forte do ultrassom quando é usado cabeçote de 4 Mc/s. No entanto, fazendo-se o exame com cabeçote de 2 Mc/s, as indicações que se obtêm são satisfatórias.

6. As placas de aço efervescente acusaram também, em alguns casos, forte absorção do ultrassom. No entanto, usando-se, quando necessário, cabeçote de 2 Mc/s, e, sempre que possível, o de 4 Mc/s, pode-se obter indicações claras e precisas dos defeitos internos.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Direção da Companhia Siderúrgica Nacional a autorização dada para publicar o presente trabalho, bem como aos observadores metalúrgicos Iltamar G. F. Guida e Achilles D. Rosa, ao metalografista Heraldo B. Barroso, ao ensaísta Luiz Torres, ao amos-trador Edson S. Ramos, ao operador Lyceu F. da Costa e ao auxiliar de Administração Nabih A. Saade, pela colaboração recebida na realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

1. PIGNET, J. L. — *Emploi des ultra-sons*. Revue de Metallurgie, n.º 10, pág. 169; Paris, 1957.
2. PALMÉ, M. — *Procédés récents d'auscultation aux ultra-sons du matériel de voie sur le réseau de la S.N.C.F.* Revue de Metallurgie, n.º 11, pág. 879; Paris, 1957.

3. PIGNET, J.; KERVERSAN, E. de — *Contrôle ultra-sonoscopique des grosses pièces forgées et moulées*. Revue de Metallurgie, n.º 3, pág. 169; Paris, 1957.
4. MARTIN, E.; WERNER, K. — *Fehleraufzeichnung beim Ueberschall-Impuls-Laufzeit-Verfahren*. Archiv fuer das Eisenhuettenwesen, n.º 9, pág. 579; Duesseldorf, 1956.
5. MARTIN, E.; WERNER, K. — *Schienenpruefung mit Ultraschall und der Ultraschal-Sciennenpruefwagen der Deutschen Bundesbahn*. Eisenbahntechnische Rundschau, n.º 12; Darmstadt, 1956.
6. KOPINECK, H. J.; HOFF, H. — *Pruefung von Feiblechen mit Ueberschall*. Stahl und Eisen, n.º 11, pág. 727; Duesseldorf, 1957.
7. KOPINECK, H. J.; KRAECHTER, H.; RAUTERKUS, W. — *Ultraschallpruefung von Erzeugnissen der Eisen schaffenden Industrie in der laufenden Fertigung*. Stahl und Eisen, n.º 11, pág. 786; Duesseldorf, 1959.
8. BECKMANN, G. — *Zur Pruefung schwerer Schmiedestuecke mit Ultraschall*. Neue Huette, vol. 2, n.º 2/3, pág. 169; Berlím Oriental, 1957.
9. GRABENDOERFER, W.; KRAUTKRAEMER, J. — *Ueber Impuls-Echo-Pruefung an plattenfoermigen Koerpern*. Zeitschrift fuer Metallkunde, vol. 49, n.º 1, pág. 22; Stuttgart, 1958.
10. KRAUTKRAEMER, J. — *Ultraschallpruefung im Dienste der Unfallverhuetung*. Moderne Unfallverhuetung, pág. 48, Vulkan-Verlag Dr. W. Classen, Essen.
11. KRAUTKRAEMER, J. — *Die Messung der Ultraschall-Schwaechung nach dem Echolot-Verfahren*. Giesserei, n.º 20, pág. 1067; Duesseldorf, 1958.
12. BEAUJARD, L.; HUSAREK, V. — *Quelques nouveaux appareils pour le contrôle non destructif en continu des métaux*. Métaux-Corrosion-Industries, vol. 33, n.º 388, pág. 459; Paris, 1957.
13. NEPOMUCENO, L. X. — *As técnicas ultra-sônicas na indústria ferroviária*. "Engenharia", vol. XVII, n.º 193, pág. 206; São Paulo, 1958.
14. ZANELA, M. M. — *Introdução ao uso do ultra-som em peças fundidas*. Trabalho apresentado ao XV Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais; São Paulo, 1960.



FÔLHA ANEXA I

EXAME DE PLACAS COM ULTRA-SOM

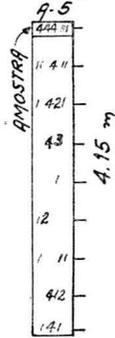
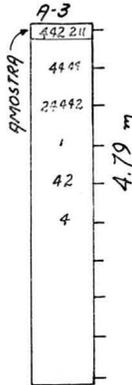
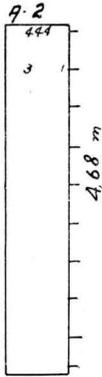
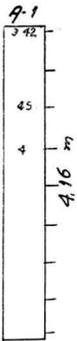
a) DADOS DO MATERIAL

CORRIDAS: 9-1 ATÉ 9-5
 TIPO DE AÇO: AÇULMADO, AISI C 1035
 DIMENSÕES DAS PLACAS:
 CORRIDAS 9-1, 9-4 & 9-5 = 612 X 102 mm
 CORRIDAS 9-2 & 9-3 = 800 X 102 mm

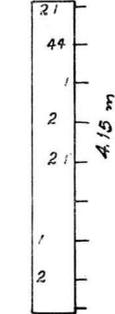
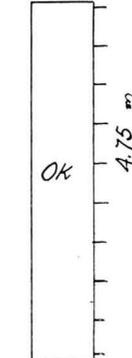
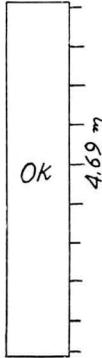
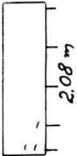
b) DADOS DO APARELHO

FREQÜÊNCIA: 4 Mc/s
 SENSIBILIDADE: 7
 ESCALA: 250 mm
 ENERGIA: 5

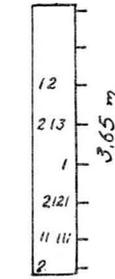
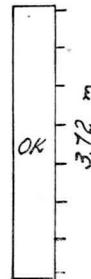
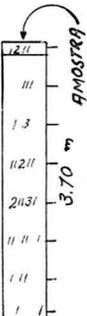
PLACAS Nº 1



PLACAS Nº 2



PLACAS Nº 3



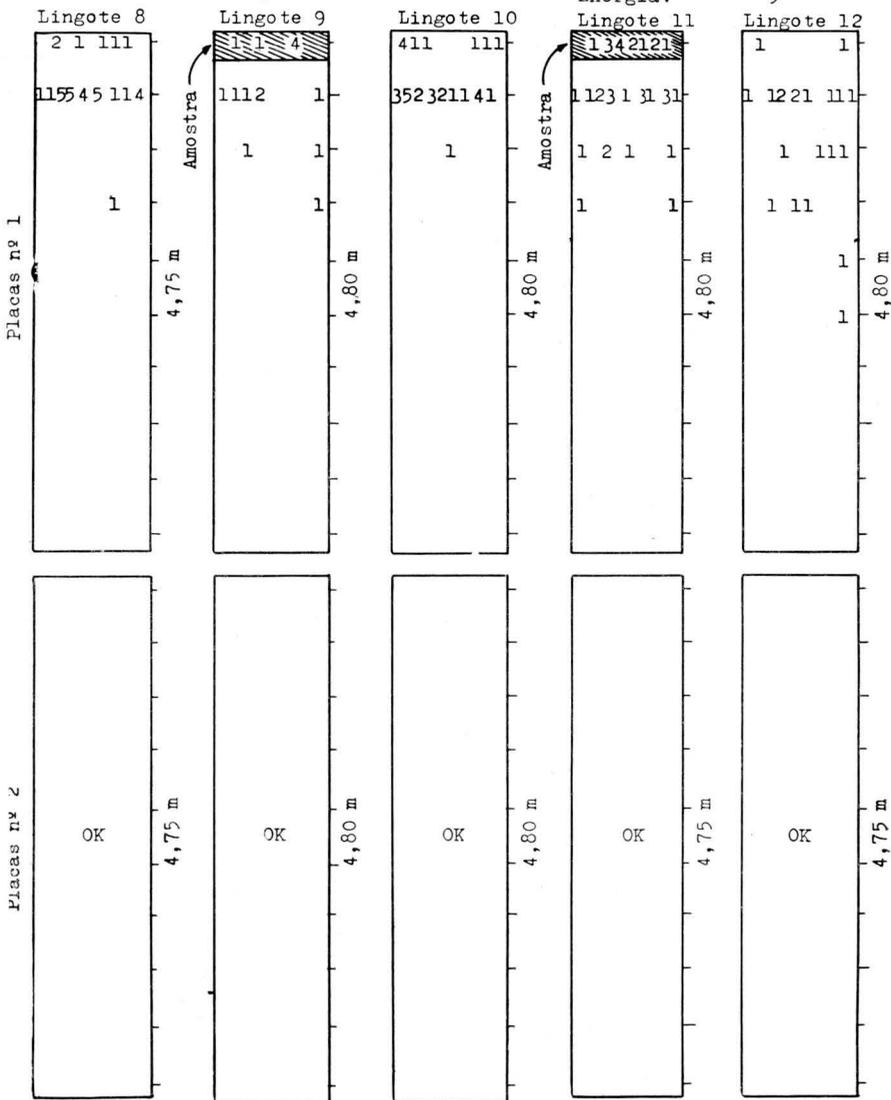
EXAME DE PLACAS COM ULTRA-SOM

a) Dados do material

Corrida: B-2
 Tipo de aço: AISI C 1020 semi-acalmado
 Dimensão das placas: 114 x 1010 mm

b) Dados do aparelho

Freqüência: 4 Mc/s
 Sensibilidade: 7
 Escala: 250 mm
 Energia: 5



Fôlha anexa IX

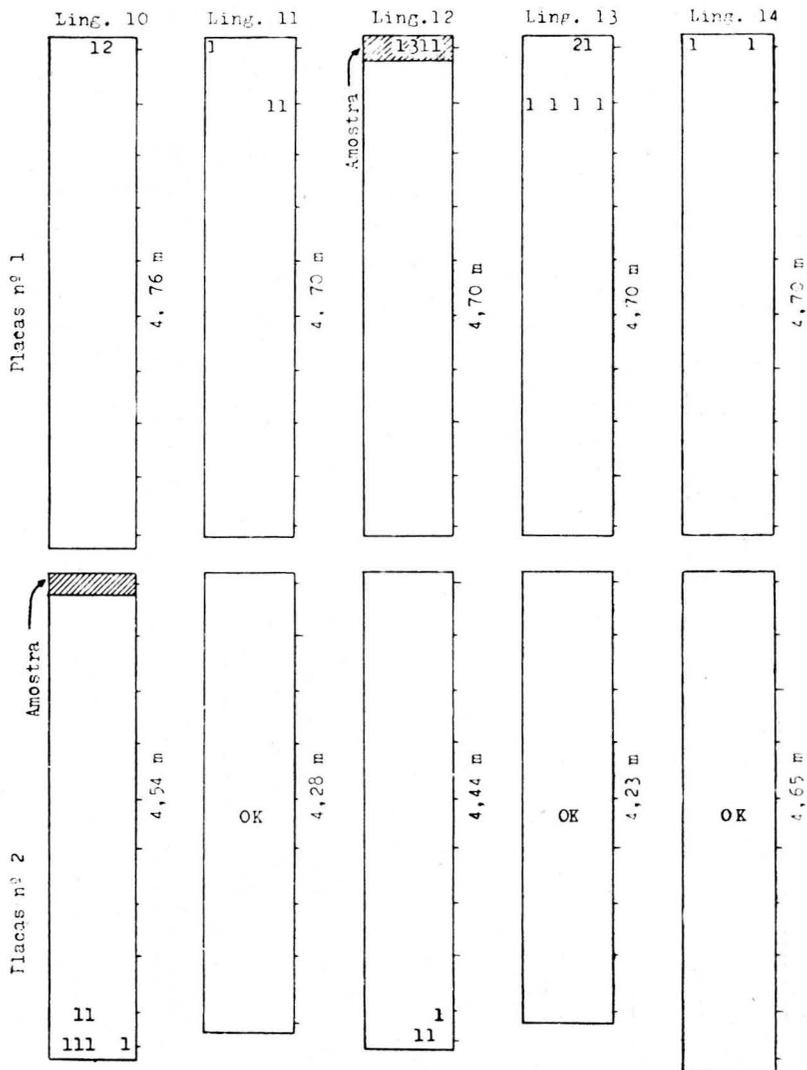
EXAME DE PLACAS COM ULTRA-SOM

a) Dados do material

Corrida: C-3
 Tipo de aço: extra-doce de lingo-
 teira-garrafa
 Dimensão das placas: 140 x 794 mm

b) Dados do aparelho

Freqüência: 2 Mc/s
 Sensibilidade: 10
 Escala: 250 mm
 Energia: 5



EXAME DE PLACAS COM ULTRA-SOM

a) Dados do material

Corrida: C-4
 Tipo de aço: extra-doce de lingo-teira-garrafa
 Dimensão das placas: 146 x 768 mm

b) Dados do aparelho

Freqüência: 2 Mc/s
 Sensibilidade: 5
 Escala: 250 mm
 Energia: 2



Fôlha anexa XIII

EXAME DE PLACAS COM ULTRA-SOM

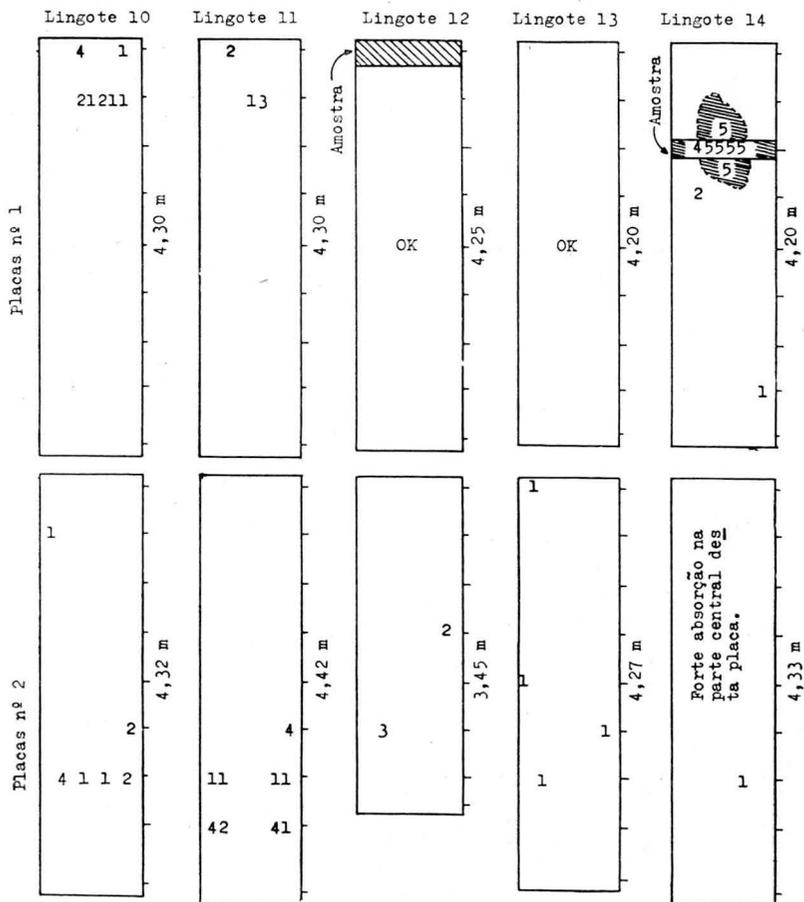
a) Dados do material

Corrida: D-2
 Tipo de aço: extra-doce efervescente
 Dimensão das placas: 102 x 1048 mm

b) Dados do aparelho

Freqüência: 4 Mc/s
 Sensibilidade: 10
 Energia: 5
 Escala: 250 mm

Nota: Em parte das placas notou-se certa absorção do ultra-som na região central.



EXAME DE PLACAS COM ULTRA-SOM

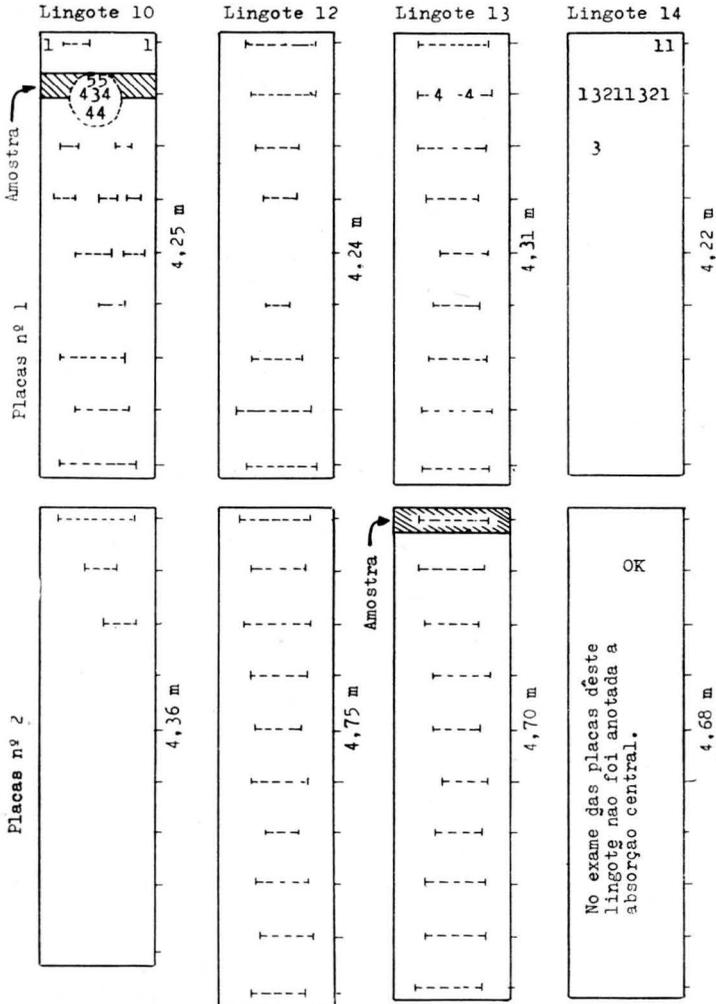
a) Dados do material

Corrida: D-7
 Tipo de aço: extra-doce efervescente
 Dimensão das placas: 102 x 1043 mm

b) Dados do aparelho

Freqüência: 4 Mc/s
 Sensibilidade: 10
 Energia: 5
 Escala: 250 mm

Convenção: |-----| = Absorção forte, às vèzes quase total, do ultra-som (ausência do 2º eco, pelo menos).



DISCUSSÃO ⁽¹⁾

A. Cucchi ⁽²⁾ — Agradeço a gentileza que teve o Eng. Sylvio Friedrich para com a Sociedade Argentina de Metais, ao passar-me a presidência desta Reunião. Ouvida a exposição que o Eng. Friedrich fez do seu trabalho, ponho-o em discussão.

Gonzalo Villaseca ⁽³⁾ — Queria felicitar o A. pelo esplêndido trabalho que acabou de nos oferecer e fazer-lhe uma pergunta: quais são os planos dos senhores para aplicação industrial do US? Que pensam fazer para esse tipo de resultado?

S. Friedrich ⁽⁴⁾ — Como vimos pela exposição que acabei de fazer, o exame permite detectar a presença de defeitos, mesmo pequenos até certo ponto, nas placas. Isso dá possibilidades muito boas para o controle, porque certas condições de elaboração, do vazamento, do lingotamento e da laminação primária podem provocar defeitos, principalmente bôlhas e restos de bolsas de contração. De modo que, pelo controle sistemático, talvez não de tôdas as corridas, mas de uma parte da produção, é possível tomar, com rapidez, medidas corretivas na aciaria e na laminação do desbastador. Com esse método, creio que podemos obter resultados muito bons na melhoria da qualidade.

José Abrão ⁽⁵⁾ — Desejaria saber se o exame com 4 megaciclos foi quase sempre suficiente, ou se algumas vêzes houve necessidade de utilizarem freqüências mais baixas, no caso por exemplo de granulação grosseira do material. Perguntaria se foi feito um estudo paralelo com as freqüências de 2 e de 4 megaciclos, para verificar o efeito do tamanho do grão sobre as indicações do oscilógrafo.

S. Friedrich — Sempre que possível, usamos o cabeçote de 4 megaciclos, porque dá indicação de defeitos menores e é mais preciso. O de 2 megaciclos dá indicações mais grosseiras. Mas, em qualquer dos casos, o resultado foi satisfatório. Quando a absorção interna do material é muito grande, com o cabeçote de 2 megaciclos pode-se constatar-la, porque tem maior penetração, devido ao fato de as ondas serem de maior comprimento. De maneira que, quando o cabeçote de 4 megaciclos não dava indicações muito claras, o de 2 megaciclos o fazia. Acredito que com esses dois cabeçotes pode-se fazer um controle completamente satisfatório.

Não fizemos a verificação da estrutura, porque até o momento achamo-la desnecessária. Num estágio posterior, talvez se faça isso.

J. Wscieklica ⁽⁶⁾ — Queria completar a pergunta do Eng. José Abrão dando alguns esclarecimentos suplementares. Na Belgo-Mineira fazemos controle de rotina de placas com dimensões semelhantes às de Volta Redonda; as nossas têm 75 mm de espessura. Aplica-se êste con-

(1) Contribuição Técnica n.º 399. Discutida na Comissão «I» do XV Congresso da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM; Engenheiro da «Sociedad Argentina de Metales»; Buenos Aires, República Argentina.

(3) Membro da ABM; Engenheiro da «Companhia de Aceros del Pacifico»; República do Chile.

(4) Membro da ABM e Autor do trabalho em discussão; do Departamento de Pesquisas da Usina de Volta Redonda da CSN; Volta Redonda, R.J.

(5) Membro da ABM; Engenheiro dos Laboratórios da Usina de Monlevade da CSBM; Monlevade, MG.

(6) Membro da ABM; Engenheiro dos Laboratórios da Usina de Monlevade da CSBM; Monlevade, MG.

trôle em certos aços de qualidade para, de um lado, ter-se melhor aproveitamento do material cortado pouco na tesoura e o resto estritamente necessário com maçarico — e, de outro, para determinar defeitos relativamente grosseiros.

Não nos preocupamos com defeitos abaixo de 10 ou 15 mm. São considerados aceitáveis, porque vão fechar na laminação posterior de chapa fina. Na nossa prática, usamos 2,5 megaciclos, mas, frequentemente, fomos conduzidos a usar 1 megaciclo. Por isso, interessou-nos particularmente a sua afirmação de que sempre conseguiram um exame completamente satisfatório com 2 e 4 megaciclos.

S. Friedrich — Até o momento, nas placas que examinámos. No caso não passaram de 200; os resultados foram satisfatórios e as indicações claras, com 2 megaciclos. É possível que surjam casos em que não se tenham indicações claras.

A informação do Eng. Janusz Wscieklica é muito interessante. Não tinha conhecimento de que a Belgo-Mineira aplicava com rotina o ultrassom. É justamente um dos pontos é que permite um maior aproveitamento, podendo-se dar um rendimento maior no desbastador e verificar pelo ultrassom, posteriormente, se é necessário cortar ou não uma parte maior.

Quanto aos defeitos menores, devemos esclarecer que este material, sendo grosso, vai ser laminado, em geral, para chapas finas e grossas. Defeitos pequenos vão ser alongados pela laminação e, muitas vezes, nos produtos finais são inteiramente desprezíveis. De modo que não há preocupação de procurar defeitos muito pequenos.