

# REVISTA



**SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS**

**VOLUME 5 - Nº 60 - Dezembro / 2010**

**ISSN - 1809-3957**

## **ARTIGOS PUBLICADOS**

---

### **PUBLICAÇÃO MENSAL**

Nesta edição

MANEJO DA COBERTURA VEGETAL NOS ATRIBUTOS DO SOLO EM MICROBACIAS  
HIDROGRÁFICAS - Tatiane Pereira Santos Morais, Teresa Cristina Tarlé Pissarra, Fabiana  
Camargo dos Reis, Flavia Mazzer Rodrigues; Sérgio Campos ..... 02

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADO A ANÁLISE TEMPORAL DO  
DESMATAMENTO - Teresa Cristina Tarlé Pissarra; Christiano Luna Arraes; Célia Regina P.  
Bueno; Luciano Ito Perillo; Flavia Mazzer Rodrigues ..... 05

DETERMINAÇÃO DE TENSÕES RESIDUAIS NA SOLDAGEM POR DIFRAÇÃO DE RAIOS-X  
- Augusto Eduardo Baptista Antunes, Lidia Mikiko Doi Antunes ..... 08

TENSÕES RESIDUAIS E DISTORÇÕES NA SOLDAGEM - Augusto Eduardo Baptista  
Antunes, Lidia Mikiko Doi Antunes ..... 13

Atendimento:

[contato@sodebras.com.br](mailto:contato@sodebras.com.br)

Acesso:

<http://www.sodebras.com.br>



Revista SODEBRAS –Volume 5 – N° 60 - Dezembro / 2010

## MANEJO DA COBERTURA VEGETAL NOS ATRIBUTOS DO SOLO EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS

ISSN 1809-3957

T. P. S. MORAIS<sup>1</sup>, T. C. T. PISSARRA<sup>1</sup>, F. C. REIS<sup>1</sup>, F. M. RODRIGUES<sup>1</sup>; S. CAMPOS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UNESP/FCAV-Departamento de Engenharia Rural, <sup>2</sup>UNESP/FCA-Departamento de Engenharia Rural  
tatianeps@gmail.com, teresap@fcav.unesp.br, facreis@yahoo.com.br, flamazzer@hotmail.com, seca@fca.unesp.br

**RESUMO** - A análise da superfície geomorfológica é de extrema importância para a compreensão dos fatores que interferem na formação do meio, considerando-se os recursos naturais. Assim, estudos dos processos físicos e químicos são importantes para avaliar as mudanças de origem natural ou antrópica sobre os meios. Realizar uma análise quantitativa de atributos do solo da superfície de vertentes em microbacias hidrográficas foi o objetivo desse estudo. A área de estudo compreendeu a microbacia hidrográfica do Córrego da Fazenda da Glória, município de Taquaritinga, Estado de São Paulo. Foram estudadas três microbacias hidrográficas, com diferentes perfis de vertentes, apresentando três tipos de cobertura vegetal (cana-de-açúcar, pasto e mata). Nessas áreas foram feitas coletas de solos e análises de pH, matéria orgânica e fósforo. O pH não apresentou diferença significativa nas diferentes coberturas do solo. Com relação à matéria orgânica, esta apresentou valores maiores em áreas de mata e pasto. O fósforo teve valores mais altos na microbacia 1, em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Na microbacia 2 e 3, os valores mais altos de fósforo foram no pasto.

**PALAVRAS-CHAVE:** geomorfologia, vertentes

### MANAGEMENT OF PLANT COVER ON SOIL ATTRIBUTES IN WATERSHED

**ABSTRACT** - The geomorphological analysis of the surface is extremely important for understanding the factors that influence the formation of the half, considering the natural resources. Thus, studies of physical and chemical processes are important to evaluate changes in natural or anthropogenic means. Conduct a quantitative analysis of soil surface slopes in watersheds was the purpose of this study. The study area includes the watershed of the stream of Farm of Glory, Taquaritinga municipality, State of São Paulo. We studied three watersheds with different profiles of slopes, with three types of vegetation (sugarcane, pasture and forest). In these areas was collected and analysis of soil pH, organic matter and phosphorus. The pH was not

significantly different in the different soil covers. With respect to organic matter that were higher in areas of forest and pasture. The phosphorus values were higher in watershed 1, in areas of growing sugarcane. In watershed 2 and 3, the highest values of phosphorus in the pasture.

**KEYWORDS:** geomorphology, slopes

**INTRODUÇÃO:** A bacia hidrográfica é uma área geográfica natural formada por uma área da superfície terrestre, que contribui na formação e no armazenamento de um determinado curso d'água, sendo delimitada pelos pontos mais altos do relevo, como espigões e divisores de água (CRUZ, 2003). É considerada como unidade territorial de trabalho para fins de manejo e conservação do solo e da água, por ser um sistema aberto no qual as ações que ocorrem na superfície refletem principalmente no recurso hídrico (PISSARRA, 2002). A paisagem das microbacias vem sendo modificada ao longo dos anos devido à falta de um planejamento conservacionista, que pode ser caracterizado pelo mau uso e ocupação dos solos nas áreas (TORRES & FABIAN, 2006). O manejo integrado em microbacia hidrográfica implementa uma nova maneira de se planejar e utilizar os recursos naturais, indo de encontro ao desenvolvimento sustentável (ROCHA & KURTZ, 2001). O fluxo d'água, o transporte de sedimentos e de poluentes estão diretamente relacionados com a declividade do terreno e a mudança de origem natural e, principalmente, antrópica. Assim, são de suma importância os estudos da geomorfologia do terreno quanto às inclinações de vertentes até a rede de drenagem, para a compreensão dos processos físicos e químicos no que tange a superfície do solo. Realizar uma análise quantitativa de atributos do solo da superfície de vertentes em microbacias hidrográficas foi o objetivo desse estudo.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A área de estudo compreende a microbacia hidrográfica do Córrego da Fazenda da Glória, município de Taquaritinga, centro norte do Estado de São Paulo, no planalto ocidental paulista. Sua posição geográfica é definida pelas seguintes coordenadas, latitudes 21°22'32''S e 21°18'23''S, e longitudes 48°27'54''WGr e 48°31'51''WGr (CAVICHOLI, 2008). A área está inserida na bacia hidrográfica do Córrego Rico, vinculada ao Comitê de Bacias do Rio Mogi-Guaçu, segundo a Divisão Hidrográfica do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 1994). A principal unidade de solo é classificada, de acordo com o mapa pedológico do Estado de São Paulo, como Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) (OLIVEIRA et al., 1999). Foram estudadas três microbacias hidrográficas, com diferentes perfis de vertentes, apresentando três tipos de cobertura vegetal, sendo cana-de-açúcar, pasto e mata. Nessas áreas foram feitas coletas de solos e análises de pH (em CaCl<sup>2</sup>), matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>) e fósforo (mg/dm<sup>3</sup>), conforme método proposto por Raij et al. (1987). Na análise dos parâmetros foi utilizado o programa AgroEstat para o teste de Tukey a

**Tabela 1:** Atributos do solo e cobertura vegetal.

Microbacias	Manejo	Atributos do solo		
		pH	M.O.	P
Microbacia 1	Mata	5,3 a	23,6 a	6,4 a
	Pasto	4,9 a	19,2 ab	7,2 a
	Cana	5,4 a	12,2 b	16,0 a
Microbacia 2	Mata	5,3 a	30,4 a	7,8 b
	Pasto	5,3 a	16,0 b	34,2 a
	Cana	5,0 a	7,6 c	28,2 a
Microbacia 3	Mata	5,3 a	22,2 a	6,8 a
	Pasto	5,1 a	17,0 ab	20,0 a
	Cana	5,4 a	12,0 b	9,4 a

Segundo BERNOUX et al. (1999), nos ecossistemas naturais a fonte de carbono orgânico do solo tem origem nos resíduos da vegetação nativa, enquanto nos agrossistemas, a maior parte do carbono do solo é proveniente da vegetação nativa e da decomposição dos resíduos vegetais das culturas introduzidas. A atuação da matéria orgânica nas propriedades do solo é de suma importância, uma vez que atua como fonte de energia para a massa microbiana e nutrientes para as plantas. A mineralização da matéria orgânica resulta na liberação de nutrientes essenciais às plantas, tais como N, P, S, K, Ca, Mg e micronutrientes (MARIN, 2002). O autor ressalta ainda que, de 15 a 80% do P total encontrado no solo pode ser proveniente da matéria orgânica. Nos solos de regiões tropicais, a elevada acidez e a presença de alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>), aliadas à baixa fertilidade, são os principais fatores a restringir

5%, para avaliar a variabilidade em cada vertente, na possibilidade de comparar os dados obtidos entre as mesmas, no que tange aos atributos do solo.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na microbacia hidrográfica do Córrego da Fazenda da Glória, foram analisadas três microbacias hidrográficas com diferentes perfis de vertentes, em relação ao uso e ocupação do solo em áreas de mata, pasto e cultivo de cana-de-açúcar. Na Tabela 1, observa-se que o pH não apresentou diferença significativa nas diferentes coberturas do solo, permanecendo entre 4,9 e 5,4. Com relação à matéria orgânica, esta apresentou valores menores em áreas de cana (entre 7,6 a 12,2 g/dm<sup>3</sup>) e valores maiores em áreas de mata (entre 22,2 a 30,4 g/dm<sup>3</sup>) e pasto (entre 16,0 a 19,2 g/dm<sup>3</sup>). Observando o fósforo, os valores menores foram nas áreas de mata (entre 6,4 a 7,8 mg/dm<sup>3</sup>) e os valores maiores foram em áreas de cultivo de cana-de-açúcar na microbacia 1 (16,0 mg/dm<sup>3</sup>) e de pasto nas microbacias 2 e 3 (34,2 e 20,0 mg/dm<sup>3</sup>, respectivamente).

a produção agrícola. O pH do solo também influencia na velocidade de decomposição da matéria orgânica (ABREU JR. et al., 2003). Os solos sob mata geralmente apresentam menores valores de pH, uma vez que a mineralização da matéria orgânica e os exudatos ácidos liberados pelas raízes das plantas contribuem para aumentar a acidez do solo (BARRETO et al., 2006). Detectou-se no presente estudo que os valores de pH não diferiram significativamente entre os três tipos de uso do solo, sendo eles mata, pasto e cana-de-açúcar. Estes valores discordam com os de Fialho et al. (1991), que relatam que em relação aos teores de nutrientes e valores de pH, os maiores valores foram encontrados para mata natural. BARRETO et al. (2006) relata que em relação ao P disponível, a serrapilheira dos sistemas mata e pasto pode contribuir para o fornecimento de P na camada superficial e diminuir a possibilidade de reações de fixação deste. No presente

trabalho, o fósforo apresentou valores mais altos na microbacia 1, em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, devido às adubações que são realizadas durante o período de desenvolvimento desta cultura. Nas microbacias 2 e 3 os valores mais altos de fósforo no pasto explica-se pela proximidade com a área de cana-de-açúcar e esta área foi possivelmente utilizada como depósito de adubos fosfatados.

**CONCLUSÕES:** Os diferentes sistemas de uso e ocupação do solo (mata, pasto e cana-de-açúcar) não ocasionaram mudanças no pH do solo. A matéria orgânica foi mais expressiva em área de mata. Os valores de fósforo foram mais altos em áreas de pasto e cana-de-açúcar.

**AGRADECIMENTO:** À CAPES pela concessão de bolsa à Tatiane P. Santos Morais.

## REFERÊNCIAS

ABREU JR., C.H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A.F. Relações entre acidez e propriedades químicas de solos brasileiros. *Science agrícola*, Piracicaba, v.60, n.2, p.337-343, 2003.

BARRETO, A.C.; LIMA, F.H.S.; FREIRE, M.B.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, F.J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. *Revista Caatinga*. Mossoró, v.19, n.4, p.415-425, 2006.

BERNOUX, M.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C.; GERALDES, A.P.A.; FERNANDES, S. A. P. Carbono e nitrogênio em solo de uma cronosequência de floresta tropical - pastagem de Paragominas. *Science agrícola*, Piracicaba, v.56, n.4, p.777-783, 1999.

CAVICHOLI, F.A.; BERTONHA, R.S.; BORGES, M.J.; PISSARRA, T.C.T. Avaliação do uso e ocupação do solo em propriedades rurais para implantação de práticas conservacionistas. *XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação* - Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos, 4p. 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blucher. 150 p. 1974.

CRUZ, L.S.B. *Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba*. Campinas - SP. Tese de doutorado, FEAGRI, UNICAMP, 181 p. 2003.

FIALHO, J. F.; BORGES, A. C.; BARROS, N.F. Cobertura vegetal e características químicas e físicas e atividade da microbiota de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Campinas, v.15, p.21-28, 1991.

MARIN, A. M. P. *Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo*. 2002. 83f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2002.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. *Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: Legenda Expandida*. Campinas: EMBRAPA/IAC, 1999. p.64.

PISSARRA, T.C.T. *Análise da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico na sub-região de Jaboticabal, SP: comparação entre imagens TM-Landsat 5 e fotografias aéreas verticais*. 2002. 132p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S., BATAGLIA, C.O. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

ROCHA, J.S.M. & KURTS, S.M.J.M. *Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas*. 4ª ed. Santa Maria: UFSM/CCR, 2001. 120 p.

SÃO PAULO. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. *Legislação sobre recursos hídricos*. São Paulo: DAEE, 1994. 72p.

SILVA, C.A.; ANDERSON, S.J.; VALE, F.R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos a calagem e adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, p. 593-602, 1999.

TORRES, J.L.R. & FABIAN, J.A. Levantamento topográfico e caracterização da paisagem para planejamento conservacionista numa microbacia hidrográfica de Uberaba. *Caminhos da Geografia*, Uberlândia, v. 6, n. 19, p. 150 -159, 2006.

**Direitos autorais:** Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.



Revista SODEBRAS –Volume 5 – N° 60 - Dezembro / 2010  
**SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS  
APLICADO A ANÁLISE TEMPORAL DO  
DESMATAMENTO**

ISSN 1809-3957

T. C. T. PISSARRA<sup>1</sup>; C. L. ARRAES<sup>2</sup>; C. R. P. BUENO<sup>3</sup>; L. I. PERILLO<sup>4</sup>; F. M. RODRIGUES<sup>5</sup> - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, teresap@fcav.unesp.br

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi identificar e quantificar o desmatamento na região amazônica no estado do Pará, no período de 1987 a 2001 a partir da estruturação de um banco de dados utilizando o Sistema de Informações Geográficas (SIG) – IDRISI ANDES 15.0. As imagens utilizadas foram do satélite LANDSAT 5 disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desde 2003. Os resultados demonstram um quadro preocupante no que condiz a preservação e aplicação da legislação ambiental pelo Estado brasileiro, já que a devastação da Amazônia insere-se dentro da estrutura econômica do país.

**PALAVRAS-CHAVE:** Amazônia, imagens orbitais, sistema de informação geográfica.

**GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM  
APPLIED A TEMPORAL  
ANALYSIS OF DEFORESTATION**

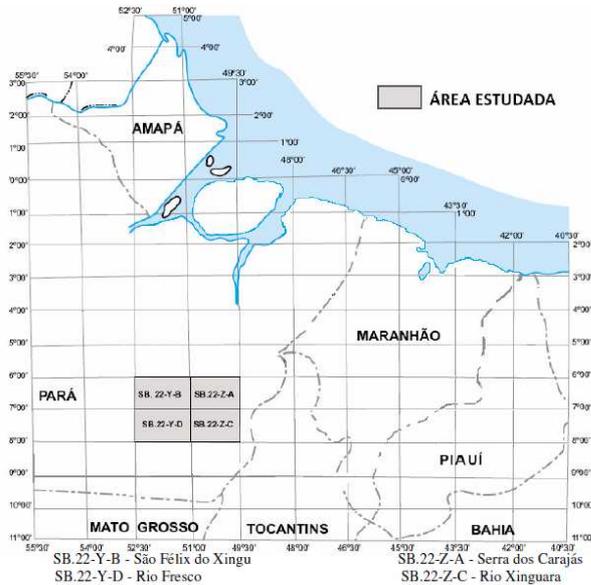
**ABSTRACT:** The objective was to identify and quantify the deforestation in the Amazon region in state of PA in the period from 1984 to 2001 from the structuring of a database using Geographic Information System (GIS) - IDRISI ANDES 15.0. The images used were from the LANDSAT 5 satellite provided by the National Institute for Space Research (INPE) since 2003. The results show a consistent concern with the preservation and enforcement of environmental legislation by the Brazilian state, since the devastation of the Amazon fits into the economic structure of the country.

**KEYWORDS:** Amazon, orbital images, Geographic information system.

**INTRODUÇÃO:** A Amazônia Legal possui mais de 700 mil Km<sup>2</sup> de áreas desflorestadas em seus nove Estados (INPE, 2007), que se diferem quanto aos processos de ocupação em virtude de sua extensão, fatores econômicos, políticos, demográficos, clima, relevo e uso

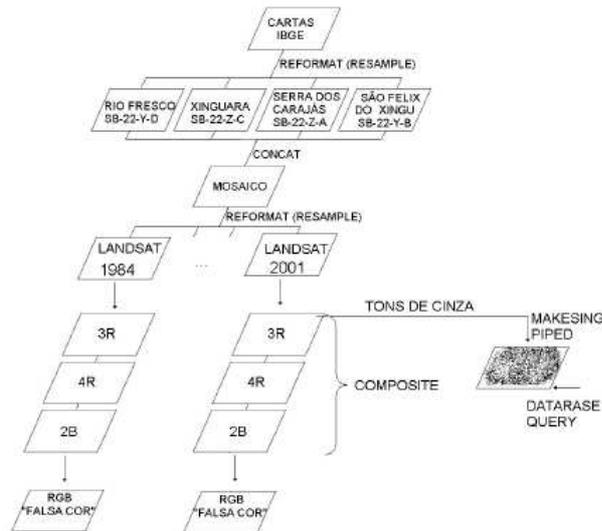
agrícola. Estudos sugerem que são os grandes e médios agentes os principais responsáveis pelo desmatamento, com predomínio para a atividade pecuária (MARGULIS, 2003). Sensoriamento remoto pode ser definido como sendo a utilização conjunta de sensores e equipamentos para processamento de dados, entre outros, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que compõem a superfície terrestre (NOVO, 1989). (BURROUGH, 1986) define um Sistema de Informação Geográfica como um poderoso conjunto de instrumentos para coletar, armazenar, recuperar e, posteriormente, transformar e representar dados referenciados da superfície terrestre para um conjunto de propósitos particulares. A análise e quantificação do desmatamento da região amazônica visam o alerta ao desenvolvimento de políticas públicas e ações corretivas para as áreas em questão e combate à degradação ambiental.

**MATERIAL E MÉTODOS:** As folhas utilizadas São Félix do Xingu (SB.22-Y-B), Serra dos Carajás (SB.22-Z-A), Rio Fresco (SB.22-Y-D) e Rio Xinguara (SB.22-Z-C) situam-se na região leste do estado do Pará, norte do estado de Tocantins e oeste do Maranhão. Limitadas pelos paralelos 6°00' e 8° 00' de latitude sul e pelos meridianos 49°30' e 52°30' de longitude oeste de Greenwich (figura 1). A área de estudo possui uma área territorial de aproximadamente 18000 km<sup>2</sup>.



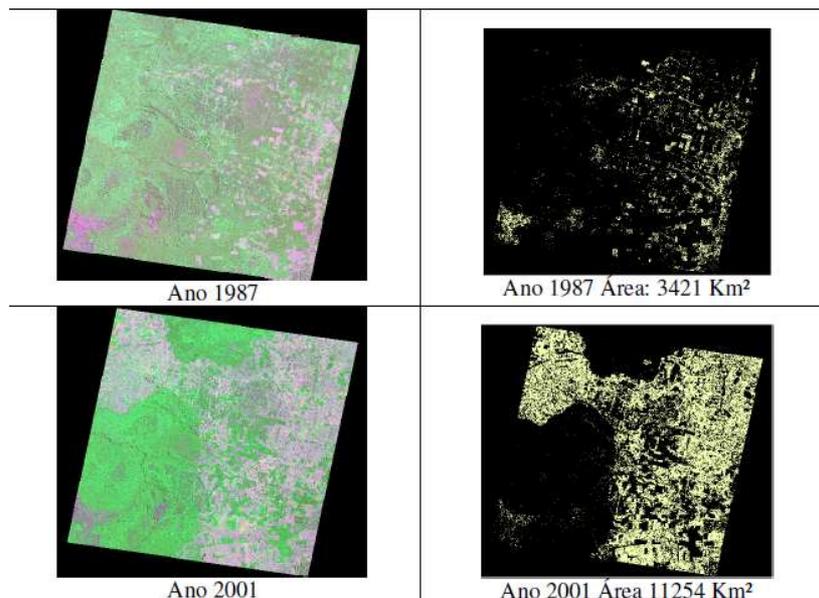
**Figura 1.** Cobertura cartográfica da área de estudo. Escala 1:250.000. (adaptado de ftp://ftp.cprm.gov.br/pub/pdf/maraba/maraba\_introducao.pdf)

A cartas topográficas foram adquiridas do banco de dados do IBGE. As imagens orbitais foram extraídas do banco de dados do INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais) do período de 1987 a 2001. O organograma apresentado na Figura 2 sintetiza os procedimentos adotados para quantificação da área desmatada, cuja metodologia foi desenvolvida através do SIG - IDRISI 15.0.



**Figura 2.** Organograma sobre a metodologia desenvolvida no SIG-IDRISI 15.0

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A identificação e a quantificação das áreas desmatadas são observadas na Figura 3.



**Figura 3.** Imagens resultantes da quantificação e identificação das áreas desmatadas nos anos de 1987 e 2001.

A análise dos resultados demonstra uma situação preocupante a respeito do avanço do desmatamento ocorrido na região, cuja área desmatada obteve um crescimento percentual acima de 328% ao longo do período estudado, cujos valores iniciais e finais acerca do desmatamento no estudo foram de 3421km<sup>2</sup> e 11254 Km<sup>2</sup> respectivamente. Observa-se que o desmatamento desordenado na área ocorreu em direção ao interior do Município.

**CONCLUSÃO:** Analisando o atual cenário de ocupação do solo na região, fica evidente que o emprego de tecnologias de sistema de informações geográficas mostra-se fundamental para análise e planejamento da paisagem da região, já que a análise ambiental permitiu a identificação com ênfase da descaracterização da vegetação de cobertura natural. O planejamento de educação ambiental visando a conscientização das pessoas que residem no local quanto à preservação dos ecossistemas ali presentes, bem como, uma forma de mitigar os impactos causados pelo desmatamento e pela expansão urbana, trata-se de alternativas eficientes na tomada de decisões visando o planejamento e uso do solo, concordando com os trabalhos desenvolvidos por Araújo & Freire (2007). A partir dos resultados obtidos é possível gerar e replicar os dados por todo o país através do emprego de SIG, objetivando o planejamento futuro das paisagens, na tentativa de conciliar atividades econômicas com conservação ambiental.

## BIBLIOGRAFIA

- ARAUJO, M.V.; FREIRE, G.S.S. *Análise ambiental da área estuarina do Rio Acaraú – Ceará*. Revista de Geologia, v.20, n.2, p.205-218, 2007.
- BURROUGH, P.A (1986) *Principles of geographical information system for land resources assessment*. Oxford, Clarendon Press
- FROHN, R.C., DALE, V.H., JIMENEZ, B.D. 1990. *Colonization, road development and deforestation in the brazilian Amazon Basin of Rondonia*. Environmental Sciences Division Publication No. 3394.
- ORNL/TM-11470 Oak Ridge National Laboratory, Tennessee. INPE (2007).
- MARGULIS, S. Banco Mundial. *Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira - 1ª edição - Brasília – 2003*. 100p.
- MOREIRA, R.A; et al. *Análise temporal do uso do solo nos municípios do entorno do Parque Nacional das Emas (52°55`W – 18°08`S) com a utilização de imagens Landsat MSS, Landsat 7 e CBERS* ([http://www.obt.inpe.br/cbers/cbers\\_XIISBSR/450\\_cbers-LMSS-L7-entorno\\_pne.pdf](http://www.obt.inpe.br/cbers/cbers_XIISBSR/450_cbers-LMSS-L7-entorno_pne.pdf)).
- NOVO, E.M.L.M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo, Edgard Blücher, 1989.

**Direitos autorais:** Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.



*A.E. B. Antunes<sup>1</sup>, L. M. D. Antunes<sup>2-1</sup>UNESP – FEG / SP, <sup>2</sup>IEAv – CTA – SJC/SP, -  
lidia@ieav.cta.br*

### Resumo

A difração de raios-X é um método não destrutivo conveniente para determinar tensões residuais na soldagem e é particularmente adequado para avaliar os grandes gradientes de tensão que ocorrem nas proximidades do cordão de solda, apresentando resultados raramente obtidos por outros procedimentos experimentais. Apesar disto, os métodos por difração de raios-X não são triviais se resultados significativos e confiáveis são almejados, isto é particularmente verdadeiro na avaliação de tensões residuais na soldagem. Este trabalho procura demonstrar as dificuldades práticas e possíveis soluções para contorná-las. Um conjunto de medições de tensões efetuadas em chapas de diferentes tipos de aços, soldadas com solda elétrica com eletrodos revestidos e maçarico oxigênio-acetileno fornecem a base para discussão.

### Palavra-chave

Tensões residuais, soldagem, difração de raios-X.

## 1. INTRODUÇÃO

Tensões residuais na soldagem são tensões que existem nas junções soldadas sem a atuação de forças ou momentos externos e que resultam do processo de soldagem e resfriamento. Na soldagem sempre existirão tensões residuais macroscópicas e microscópicas (Antunes, 1995). Entretanto, na prática, quando se fala de tensões residuais são normalmente consideradas apenas as tensões residuais macroscópicas. O estado de tensão residual macroscópico na soldagem seria completamente avaliado se em cada ponto da peça soldada são conhecidas as componentes da tensão residual em valor e direção. A determinação de todas as componentes em vários pontos da junção soldada é de difícil obtenção experimental. Assim, a averiguação das tensões residuais macroscópicas na soldagem limita-se à determinação das componentes das tensões residuais paralelas e perpendiculares ao cordão de solda, denominadas respectivamente por tensões residuais longitudinais  $\sigma_y$  e tensões residuais transversais  $\sigma_x$ . A distribuição das tensões

residuais longitudinais surge e cresce a partir do início do cordão de solda e gradualmente atinge seu valor máximo em tração, diminuindo igualmente na outra extremidade da junção soldada. Somente para cordões de solda maior que determinado comprimento, o valor máximo das tensões residuais longitudinais é alcançado. Com o aumento do comprimento do cordão de solda, também crescem as tensões residuais transversais de compressão que se apresentam nos extremos do cordão de solda, até atingirem um valor máximo. Entretanto, as tensões residuais transversais de tração no meio do comprimento do cordão de solda, após atingirem um valor máximo, tornam-se quase nulas no meio de cordões de grande comprimento (De Garmo et. al., 1946). Resulta então, que dependendo do processo e dos parâmetros de soldagem envolvidos, as dimensões das peças são significativas para o pleno desenvolvimento das tensões residuais nos cordões de solda. Ou seja, cordões de solda em pequenas amostras soldadas não permitem avaliar a plenitude das tensões residuais que podem ocorrer nas construções soldadas.

Para determinação experimental das tensões residuais nas peças de engenharia podem ser empregadas diferentes técnicas, baseadas em diversos fenômenos físicos, químicos ou mecânicos. O campo de aplicação destas técnicas é amplo, mas sua seleção para uma determinada finalidade depende de vários fatores, tais como: o recurso disponível para investir em equipamentos, a facilidade de aplicação, a precisão pretendida nas medidas, a natureza da distribuição das tensões, a “escala” ou “modo” das tensões que se pretende avaliar e o gradiente de tensões na peça. Assim, a solução pode recair em diferentes métodos experimentais; entretanto, dentro deste universo, em inúmeras aplicações técnicas e científicas têm se destacado os métodos baseados na difração de raios-X (Wolfstieg, 1978). A medição de tensões por difração de raios-X é efetuada na proximidade da superfície dos materiais cristalinos e é praticamente o único método não destrutivo que pode determinar tensões residuais quantitativamente. Além disso, dependendo da técnica empregada, podem

avaliar tensões em pequenas regiões das peças. Desta forma, os métodos por difração de raios-X são convenientes para determinar tensões residuais na soldagem, podendo avaliar de modo razoavelmente preciso gradientes de tensões que ocorrem próximo aos cordões de solda, apresentando resultados que dificilmente podem ser obtidos com outros procedimentos experimentais. Tal técnica de medição baseia-se na determinação das deformações da rede cristalina, que são de fácil avaliação por difração de raios-X. Neste trabalho são apresentadas medidas de tensões residuais macroscópicas efetuadas por meio difratométrico, segundo o método do  $\text{sen}^2 \psi$ , (Macherauch et. al., 1961) cuja equação básica apresenta-se como:

$$\varepsilon_{\phi\psi} = -\cot g \theta_o d\theta_{\phi\psi} = \frac{1}{2} S_2 \sigma_{\phi} \text{sen}^2 \psi + S_1 (\sigma_1 + \sigma_2) \quad (1)$$

relacionando a deformação na rede cristalina e a deformação produzida pelo estado de tensão na superfície, de acordo com o sistema de coordenadas genérico da Figura 1. A inclinação das retas  $f(\varepsilon_{\phi\psi}, \text{sen}^2 \psi)$  numa superfície constante  $\phi$ , é dada pela expressão:

$$m_{\phi} = \frac{\partial \varepsilon_{\phi\psi}}{\partial \text{sen}^2 \psi} = \frac{1}{2} S_2 \sigma_{\phi} \quad (2)$$

ou seja, o produto da constante elástica  $\frac{1}{2} S_2$  pela componente da tensão  $\sigma_{\phi}$  atuante no plano da superfície do material e na direção dada pelo ângulo  $\phi$ . Verifica-se que, em um plano constante  $\phi$ , conhecendo-se as deformações na rede cristalina em direções inclinadas em diferentes ângulos  $\psi$  relativos à normal ao plano das tensões principais de um dado estado de tensão, pode ser avaliada a tensão  $\sigma_{\phi}$ , se as constantes elásticas são conhecidas.

Quando no difratômetro, o plano em que se situam o feixe incidente e difratado faz diferentes ângulos  $\psi$  com o plano da superfície da amostra e sendo o eixo de rotação  $\psi$  perpendicular ao eixo  $\theta$ , este é denominado “difratômetro  $\psi$ ”. A direção da tensão  $\sigma_{\phi}$  que se deseja medir na superfície irradiada é dada pela direção  $\phi$  perpendicular ao eixo  $\psi$  e no plano da superfície da amostra (Wolfstieg, 1976; Antunes, 1985).

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

O trabalho empregou dois tipos de aço, denominados aço A e aço B. O aço A com 0,2% C e 0,8% Mn pertence à classe dos aços estruturais com tensão de escoamento mínima

de 250 N/mm<sup>2</sup>. O aço B com 0,2% C, 0,9% Mn, 0,6% Si, 0,8% Cr, 0,4% Mo, 0,6% Zr pertence à classe dos aços estruturais com tensão de escoamento mínima de 690 N/mm<sup>2</sup>. Para efeito de medição das tensões residuais por difração de raios-X, o aspecto a diferenciar nestes aços é o tamanho de grão. O aço A apresenta um tamanho de grão da ordem de 12,4 $\mu$ m e o aço B da ordem de 4,5 $\mu$ m. Desta forma, sob uma mesma área irradiada, o aço B apresenta maior quantidade de grãos e assim, maior chance de planos  $(h k l)$  favoravelmente orientados à difração, ou seja, maior quantidade de grãos para satisfazer a “estatística” da difração. Para a medição de tensões nestes aços com estrutura ferrítica, foi empregada a irradiação de raios-X  $K_{\alpha}$  do cromo, com comprimento de onda  $\lambda = 2,29\text{\AA}$ . Os planos de difração são os da família  $\{2 1 1\}$  da ferrita, que num estado livre de tensão difratam a irradiação sob um ângulo  $\theta_o = 78,04^{\circ}$  (Faninger et. al., 1976).

As amostras para avaliação das tensões residuais foram oriundas de dois procedimentos: de chapas soldadas por solda elétrica e com aquecimento com maçarico oxigênio-acetileno “simulando” a soldagem. Nas soldagens simuladas, chapas com espessura de 2mm, 220mm de comprimento e 110mm de largura foram aquecidas ao longo de seu eixo maior (linha de aquecimento) com maçarico oxigênio-acetileno como se fosse um cordão de solda. Por intermédio de termopares as temperaturas máximas foram registradas e são indicadas nas figuras junto com os resultados. A soldagem elétrica com eletrodo revestido foi efetuada em chapas com 3mm de espessura, 240mm de comprimento e 110mm de largura, soldadas ao longo da maior dimensão, formando uma amostra com 240mm x 220mm. Empregou-se eletrodos AWS E 6013 com diâmetro de 3,25mm, soldagem com corrente contínua da ordem de 100 ampères.

Após soldagem as chapas foram levemente “decapadas” com solução ácida diluída e posteriormente determinadas as tensões residuais longitudinais  $\sigma_y$  na superfície superior das amostras (superfície de aquecimento ou soldagem). As tensões residuais foram avaliadas ao longo da perpendicular ao cordão de solda na região central das amostras. Os resultados das medições das tensões nas respectivas amostras conjuntamente com informações complementares são apresentados nas figuras.

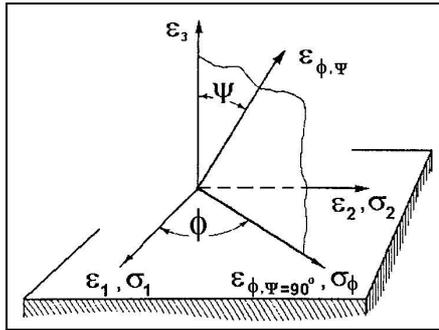


Figura 1 – Sistema de coordenadas genérico na superfície do material.

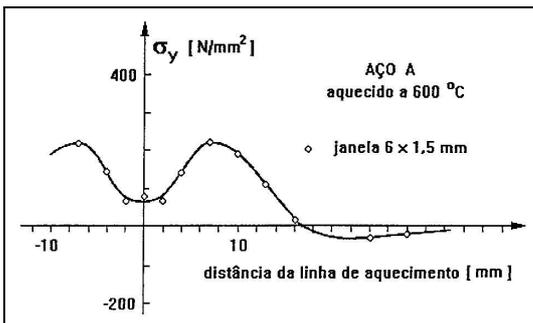


Figura 2 – Chapa do aço A aquecida a 600 °C em “soldagem simulada”.

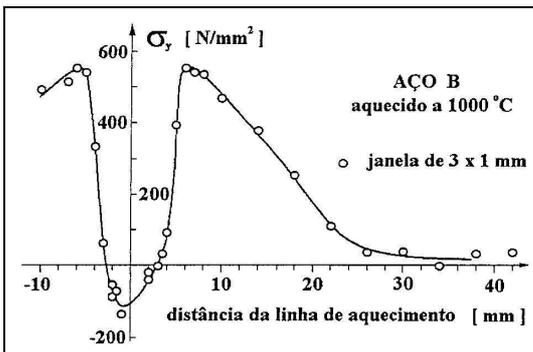


Figura 3 – Chapa do aço B aquecida a 1000 °C em “soldagem simulada”.

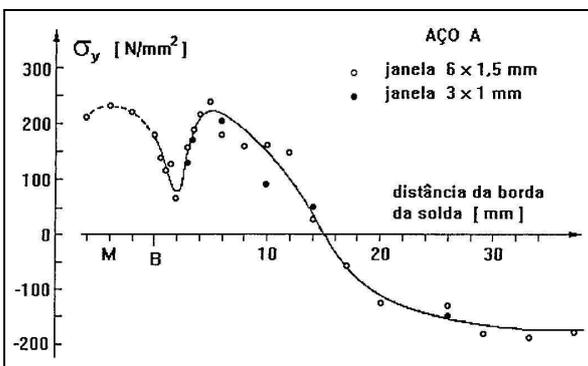


Figura 4 - Chapa do aço A soldada por solda elétrica com eletrodo revestido.

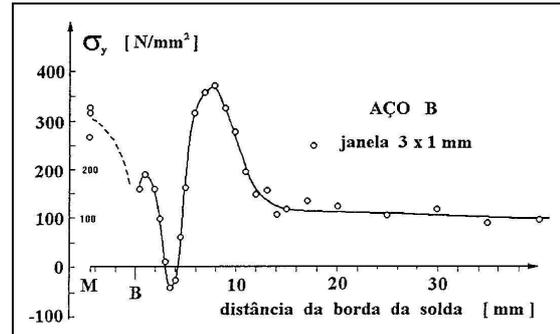


Figura 5 – Chapa do aço B soldada por solda elétrica com eletrodo revestido.

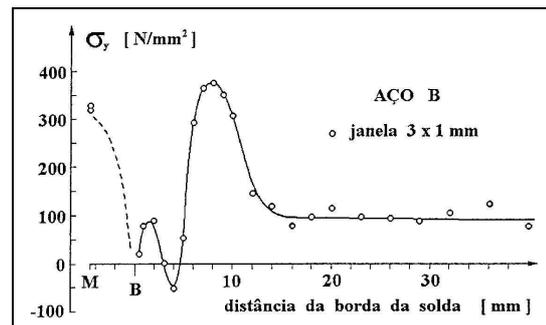


Figura 6 – A mesma amostra da Figura 5. Medições em outra posição.

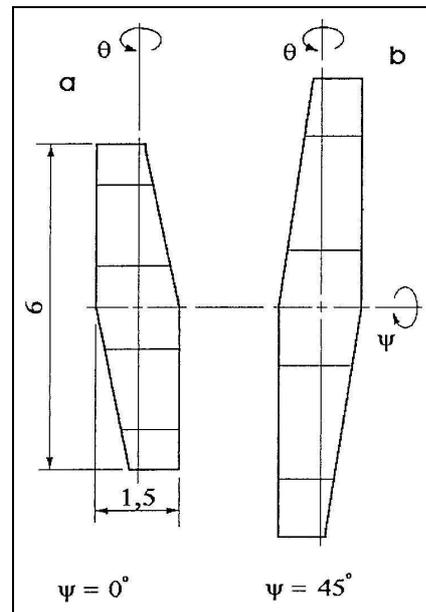


Figura 7 – Janela com geometria especial; Figura a, de tal maneira que quando  $\psi = 45^\circ$ , a geometria da superfície irradiada seja a da Figura b.

### 3. COMENTÁRIO

Neste trabalho serão comentados aspectos práticos da determinação das tensões residuais na soldagem, abstendo-se de qualquer interpretação das distribuições de tensões que se apresentam.

Nos cordões de solda e adjacências podem ocorrer intensos gradientes de tensão residual, verifica-se na Figura 3, a 4mm da linha de aquecimento, gradiente da ordem de 500 N/mm<sup>2</sup> num espaçamento de 1mm, na Figura 5, próximo a borda do cordão de solda, gradiente de 200 N/mm<sup>2</sup>. Como é de interesse medir tensões residuais em diferentes distâncias do cordão de solda (ou linha de aquecimento), a superfície irradiada adequada deve ser um retângulo, com o maior lado paralelo ao mesmo. Sua área deve ser suficientemente grande para satisfazer a “estatística” da difração e, além disso, deve ser estreito para que as medições possam “perceber” os gradientes de tensão em diferentes distâncias da junção soldada. Consequentemente, é de interesse uma superfície irradiada na forma de um retângulo estreito e comprido. Todavia, empregando um difratômetro  $\psi$ , em decorrência da alteração da geometria da superfície irradiada, motivada pela rotação em torno do eixo  $\psi$ , o comprimento deve ser limitado quando se mede as tensões residuais longitudinais (Antunes, 1983). Tal como indicado nas figuras, nas medições efetuadas foram empregadas dois tipos de “janela de saída” de raios-X. Quando o tamanho de grão do aço era pequeno, caso do aço B, foi usada a janela retangular de 3 x 1mm. Com grãos grandes, caso do aço A, empregou-se a janela com geometria especial de 6 x 1,5mm. Para evitar a distorção geométrica com a rotação  $\psi$ , esta janela foi construída com a geometria mostrada na Figura 7a, de modo que, quando  $\psi = 45^\circ$  a área irradiada sobre a amostra seja a da Figura 7b. Desta forma, a largura da superfície irradiada permanece constante. Na realidade, relativo ao tamanho da janela ocorre um ligeiro aumento na área da superfície irradiada sobre a amostra, resultante do não paralelismo do feixe incidente de raios-X.

Antes da determinação das tensões residuais, a técnica de medição foi aferida com padrão de pó de ferro, que consiste deste material recozido a 600 °C por meia hora, posteriormente misturado com cola e disperso sobre uma placa de vidro. Após a secagem, resulta uma película homogênea e lisa de pó de ferro aderida à placa de vidro, com cerca de 0,3mm de espessura. O pó de ferro, além deste ter sido recozido, não pode conter tensões residuais macroscópicas devido a descontinuidade entre os “grãos” do pó. Coerentemente, medições efetuadas em diferentes locais do padrão de pó de ferro não ultrapassaram a dispersão de  $\pm 5$  N/mm<sup>2</sup>. Além disso, a aleatoriedade das orientações cristalográficas entre os “grãos” de pó de ferro propiciam excelentes “perfis de difração”. Em vista disso, pode-se considerar,

conservativamente, os limites de  $\pm 5$  N/mm<sup>2</sup> como o erro advindo do equipamento de medição. Dentro desta dispersão incluem-se medidas com todos os tipos de janelas da saída de raios-X empregadas no trabalho. Constata-se então, que independente do tamanho e geometria das janelas utilizadas, não ocorre variação na precisão das medições quando as condições de difração são igualmente adequadas para todas.

Em pequenas amostras dos aços A e B recozidos a 600 °C foram também efetuadas medições de tensões. Para o aço A, com a janela de 6 x 1,5mm obteve-se uma dispersão de  $\pm 20$  N/mm<sup>2</sup>. Para o aço B, com a janela de 3 x 1mm obteve-se uma dispersão de  $\pm 15$  N/mm<sup>2</sup>. Desta forma, observa-se que o “erro das medições” está associado principalmente ao material sob medição, relacionado a suas particularidades microestruturais. É importante frisar que são rigorosamente iguais os perfis de difração obtidos repetidamente com uma janela sobre o mesmo local da amostra, ou seja, não faz qualquer sentido repetir medição.

Na Figura 2, observa-se que para o aço A aquecido até 600 °C, a janela de 6 x 1,5mm satisfaz aos gradientes de tensão que se apresentam. Neste caso, em decorrência do tamanho de grão, não é viável empregar a janela de 3 x 1 mm. Na Figura 3, relativa ao aço B aquecido a 1000 °C, as tensões puderam ser avaliadas com a janela de 3 x 1mm, que certamente é mais adequada que a janela de 6 x 1,5 mm para avaliação dos gradientes de tensão existentes. Na chapa do aço B soldada com solda elétrica, as Figuras 5 e 6 mostram medidas efetuadas com a janela de 3 x 1 mm em dois locais próximos sobre o cordão de solda. As distribuições das tensões apresentaram discrepâncias notórias sobre o reforço do cordão de solda e sua borda. Conquanto este comportamento seja compreensível tratando-se de soldagem manual, fica exemplificado que generalização de resultados de medições locais devem ser conduzidas com cautela. Na chapa do aço A soldada com solda elétrica, Figura 4, observa-se que as medições foram efetuadas com a janela de 6 x 1,5 mm, entretanto algumas delas foram elaboradas com a janela de 3 x 1 mm. Em função de diferentes características microestruturais, em termos práticos, ocorre um limiar marcante onde a diminuição do tamanho da área irradiada conduz a perfis de difração que não permitem avaliar as variações  $\Delta\theta$ . Na chapa do aço A soldada com solda elétrica foram efetuadas tentativas de medição com a janela de 3 x 1 mm, principalmente na região da borda da solda onde surgem os maiores gradientes de tensão. A maioria destas tentativas não apresentou sucesso. Todavia, mantém-se na

Figura 4 os resultados que puderam ser avaliados, neste caso, verifica-se que apresentam coerência com os da janela de 6 x 1,5 mm.

Sobre os cordões de solda, devido suas irregularidades superficiais e a curvatura do “reforço” as medições são dificultadas. Para contornar este problema, medidas foram efetuadas em locais escolhidos contendo menor rugosidade e dispendo de planicidade na área irradiada. Consequentemente, estes passam a ser planos de medição que não correspondem ao plano da chapa. Medidas sobre os cordões de solda em geral apresentam maior dispersão nos resultados, independentemente das janelas empregadas e da qualidade dos perfis de difração obtidos. Por este motivo, nas Figuras 4, 5 e 6, sobre os cordões de solda, a curva indicativa da distribuição das tensões é mostrada tracejada. Desta forma, na medição das tensões residuais na soldagem por difração de raios-X a confiabilidade das medições depende do material sob avaliação, da área irradiada necessária a “percepção” dos gradientes de tensão que é limitada pelo tamanho de grão e pelas características superficiais do local de medição. Sob considerações restritas aos parâmetros práticos indicados no trabalho, considera-se estimativamente o erro das medições em  $\pm 20$  N/mm<sup>2</sup> para o aço A e  $\pm 15$  N/mm<sup>2</sup> para o aço B, isto para as regiões sob medição que apresentam planicidade e regularidade superficial.

#### 4. CONCLUSÃO

Conquanto a determinação de tensões por difração de raios-X seja adequada para avaliação de tensões residuais macroscópicas nos cordões de solda, o emprego desta técnica necessita ser criteriosamente conduzida quando almeja-se confiabilidade nos resultados. Considerações devem ser efetuadas quanto as características microestruturais do material sob avaliação, presença de gradientes de tensão, aspectos superficiais do local de medição e adequação geométrica do método à natureza da

componente de tensão que se pretende avaliar na junção soldada.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

ANTUNES, A. E. B., Tensões Residuais na Soldagem, Aspectos Básicos, *J. of the Braz. Soc. Mechanical Sciences*, Vol. 17, nº 4, pp. 394-403, 1995.

ANTUNES, A. E. B., Emprego de um Difractômetro  $\psi$  Baseado no Método do  $\sin^2 \psi$ , para Determinação de Tensões por Difração de Raios-X, *XL Congresso Anual da ABM*, Rio de Janeiro, 1985.

ANTUNES, A. E. B., Estudo dos Fenômenos que Contribuem para a Formação de Tensões Residuais nas Junções Soldadas em Aços, *Tese de D. Sc., COPPE-UFRJ*, Rio de Janeiro, 1983.

De GARMO, E. P., MIRIAN, J. L., JONASSEN, F., The Effect of Weld Length upon the Residual Stresses of Unrestrained Butt Weld, *Welding Journal*, Vol. 25, nº 8, Res. Suppl., pp. 485-491, 1946.

FANINGER, G., HAUKE, V. MACHERAUCH, E., WOLFSTIEG, U., Empfehlung zur Praktischen Anwendung der Methode der Röntgenographischen Spannungsermittlung (bei Eisenwerkstoffen), *Härterei-Techn. Mitt.*, Bd. 31, pp. 109-111, 1976.

MACHERAUCH, E., MÜLLER, P., Das  $\sin^2 \psi$  Verfahren der Röntgenographischen Spannungsanalyse, *Z. Angew. Physik*, Bd. 13, pp. 305-312, 1961.

WOLFSTIEG, U., Stand und Möglichkeiten der Röntgenographischen Spannungsanalyse, *VDI-Brichte* nº 313, pp. 217-226, 1978.

WOLFSTIEG, U.,  $\psi$ -Goniometer, *Härterei-Techn. Mitt.*, Bd. 31, pp. 12-22, 1976.

**Direitos autorais:** Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.



**A. E. B. ANTUNES<sup>1</sup>, L. M. D. ANTUNES<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>UNESP – FEG/SP; <sup>2</sup>IEAv – CTA – SJC/SP, lidia@ieav.cta.br

### Resumo

Na soldagem de chapas de aço por solda elétrica com eletrodo revestido e com maçarico oxigênio-acetileno, as distorções foram registradas e as tensões residuais medidas por difração de raios-X. Com os resultados obtidos, foi possível demonstrar como as diferentes formas de distorção afetam a distribuição das tensões residuais macroscópicas nas junções soldadas.

### Palavras-chave

Soldagem, tensões residuais, distorção.

## 1. INTRODUÇÃO

Na soldagem, sempre existirão tensões residuais macroscópicas e microscópicas. Entretanto, na maioria dos casos práticos, quando se fala de tensões residuais são consideradas apenas as tensões residuais macroscópicas. Entende-se por tensão residual macroscópica num metal, aquelas que são homoganeamente distribuídas numa grande região do material, ou seja, distribuídas em vários grãos (Antunes, 1995). Relativo as tensões residuais macroscópicas de um corpo, as forças internas e seus momentos estão em equilíbrio. Com a alteração da forma do corpo, acomodam-se as tensões residuais para restabelecer o equilíbrio de forças internas e seus momentos. Desta forma, sob a ação das tensões térmicas durante e após soldagem e da própria reação as tensões residuais que se produzem, resultam alterações de forma (distorções) e assim, as distribuições das tensões residuais macroscópicas nos cordões de solda harmonizam-se para re-configurar a condição de equilíbrio. A magnitude deste efeito é demonstrada neste trabalho em chapas soldadas por solda elétrica com eletrodo revestido e com aquecimento com maçarico oxigênio-acetileno “simulando” a soldagem. Após soldagem foram registradas as distorções e medidas as distribuições das tensões residuais longitudinais  $\sigma_y$  perpendicularmente ao cordão de solda no meio da chapa. As tensões residuais foram determinadas por difração de raios-X.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

As chapas de aço empregadas no trabalho contém, 0,2% C e 0,8% Mn e pertencem a classe dos aços estruturais com tensão de escoamento mínimo de 250 N/mm<sup>2</sup>. As amostras para avaliação das tensões residuais foram obtidas a partir de soldagem elétrica e com maçarico oxigênio-acetileno. A soldagem elétrica manual com eletrodo revestido foi efetuada em chapas de 3mm de espessura, 240mm de comprimento e 110mm de largura, soldadas ao longo da maior dimensão, formando uma amostra com 240 x 240mm. Empregou-se eletrodos AWS E 6013, com diâmetro de 3,25mm, em soldagem com corrente contínua a 100A.

Com o maçarico oxigênio-acetileno foi “simulada” a soldagem em chapas com espessura de 2mm, 220mm de comprimento e 110mm de largura, aquecidas ao longo de seu eixo maior (linha de aquecimento) como se fosse um cordão de solda. Por intermédio de termopares, as temperaturas máximas foram registradas e são indicadas nas legendas das Figuras 6, 7 e 8. Após soldagem, foram registradas as distorções nas chapas, posteriormente levemente “decapadas” com solução ácida diluída e medidas as tensões residuais longitudinais  $\sigma_y$ . As tensões residuais foram determinadas por difração de raios-X por meio difratométrico, segundo o método do  $sen^2 \psi$  (Antunes, 1985). As seguintes amostras foram elaboradas:

- Amostra 1 e Amostra 2 - soldagem elétrica sob condições idênticas
- Amostra 3 - chapa aquecida a 600 °C
- Amostra 4 - chapa aquecida a 1000 °C

Os resultados das medições das tensões residuais e das distorções nas respectivas amostras são apresentados nas figuras:

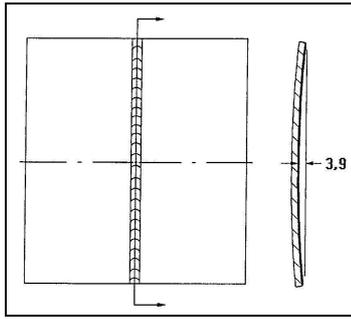


Figura 1 – Amostra 1. Distorção da amostra soldada após resfriamento para a temperatura ambiente. Desenho esquemático fora de escala.

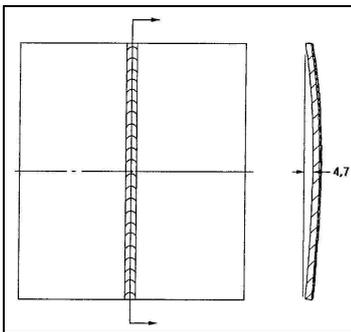


Figura 2 – Amostra 2. Distorção da amostra soldada após resfriamento para a temperatura ambiente. Desenho esquemático fora de escala.

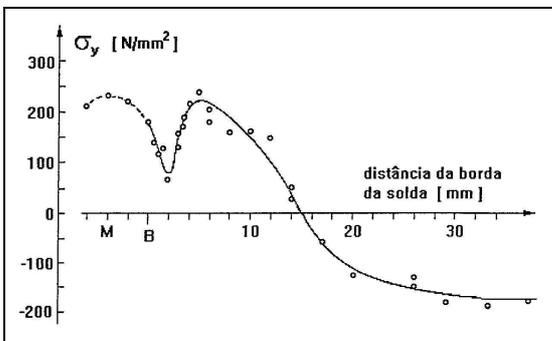


Figura 3 – Amostra 1. Distribuição das tensões residuais longitudinais na superfície superior da amostra.

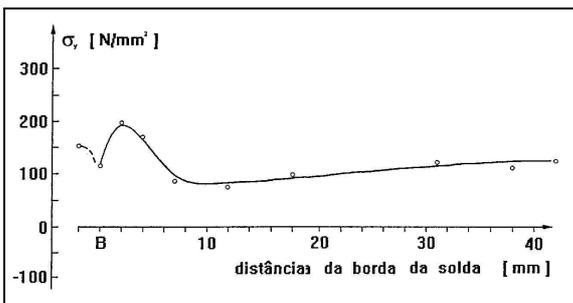


Figura 4 – Amostra 1. Distribuição das tensões residuais longitudinais na superfície inferior da amostra.

tensões residuais longitudinais na superfície inferior da amostra.

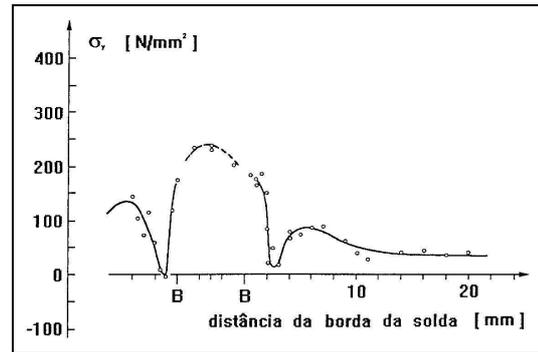


Figura 5 – Amostra 2. Distribuição das tensões residuais longitudinais na superfície superior da amostra.

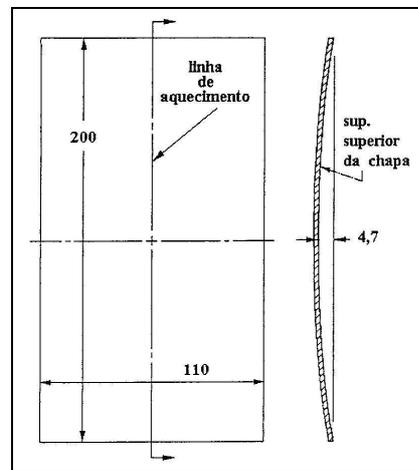


Figura 6 – Amostra 4. Distorção da chapa aquecida a 1000 °C, pós resfriamento para a temperatura ambiente. Desenho esquemático fora de escala.

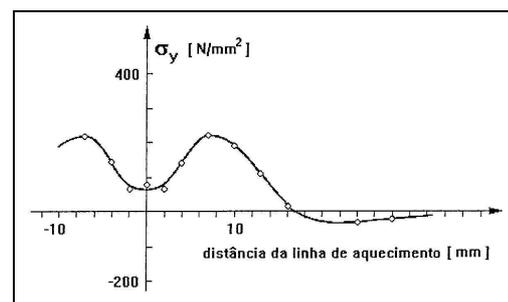


Figura 7 – Amostra 3. Chapa aquecida a 600 °C. Distribuição das tensões residuais longitudinais na superfície superior da amostra.

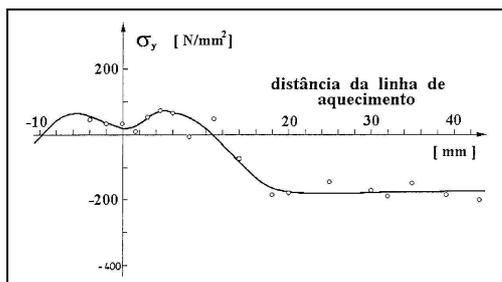


Figura 8 – Amostra 4. Chapa aquecida a 1000 °C. Distribuição das tensões residuais longitudinais na superfície superior da amostra.

### 3. COMENTÁRIO

O trabalho pretende demonstrar o efeito das distorções sobre a distribuição das tensões residuais na soldagem; buscando sinteticamente este objetivo não se atêm aos fenômenos mecânicos e metalúrgicos que induzem à formação das distorções e tensões residuais, nem a interpretação das distribuições de tensões residuais que se apresentam.

Verifica-se na Figura 1, que na Amostra 1 o cordão de solda sofreu um arqueamento para baixo, relativo ao plano original da superfície superior da amostra. Na Amostra 2, que foi soldada sob condições idênticas, a Figura 2 mostra ao contrário, um arqueamento para cima. A ocorrência de distorções na soldagem com mais de uma configuração final estável indica que no processo de distorção ocorre flambagem da chapa. Além disso, as deformações por flambagem são normalmente grandes (Vinokurov, 1977), tal como ocorreu com as amostras sob consideração. As deformações na soldagem estão relacionadas à espessura das chapas, a restrição à deformação das mesmas por intermédio de “reforços” na estrutura e aos parâmetros da soldagem, particularmente a densidade de energia do processo de soldagem (Malisius, 1977; Masubuchi, 1980). Na soldagem, a atuação completa dos diferentes mecanismos que causam distorção é complexa. As alterações de forma geradas na amostra surgem durante a formação das tensões térmicas iniciais que ocorrem durante a soldagem. Estas alterações de forma continuam no posterior período de resfriamento, acomodando as variações das tensões térmicas, as tensões oriundas de transformações metalúrgicas e as das resultantes tensões residuais.

Observa-se na Figura 3 que as tensões residuais na Amostra 1 a partir de 15mm da borda da solda tornam-se negativas e além de 20mm ocorrem tensões de compressão da

ordem de 150 N/mm<sup>2</sup>. Na amostra 2 não ocorrem tensões residuais de compressão e a partir de 10mm as tensões apresentam-se constantes, da ordem de 50 N/mm<sup>2</sup>. Estas diferenças na distribuição das tensões entre as Amostras 1 e 2 estão associadas a desigual configuração final das Amostras oriunda de distorções com participação de mecanismos de flambagem. Os arqueamentos apresentados pelas Figuras 1 e 2 estenderam-se até as bordas da chapa (bordas paralelas ao cordão de solda). Assim, pela Figura 1 pode-se imaginar, analogamente a uma viga fletida, que a superfície superior da chapa conteria na direção longitudinal tensões de compressão e na superfície inferior tensões de tração. Nesse sentido, existe coerência na configuração da Figura 1 com a distribuição das tensões residuais na superfície superior da Amostra 1, Figura 3, que passa a apresentar tensões de compressão a partir de 15mm da borda da solda. Também com a distribuição das tensões residuais na superfície inferior da amostra, apresentada na Figura 4, que contém basicamente tensões de tração da ordem de 100 N/mm<sup>2</sup>. Da mesma forma, existe coerência na configuração da Figura 2 referente a Amostra 2, que exibe curvatura inversa a da Figura 1 e assim, a distribuição das tensões residuais na superfície superior da amostra, Figura 5 apresenta apenas tensões de tração e tornam-se aproximadamente constantes além de 10mm da borda da solda, da ordem de 50 N/mm<sup>2</sup>. A analogia com um viga fletida, tal como apresentado, justifica as diferenças entre as distribuições das tensões residuais longitudinais nas Amostras 1 e 2 em função de suas respectivas distorções. Certamente, as diferenças na distribuição das tensões residuais produzidas pelas distorções das amostras decorrem de fenômenos que extrapolam o simplório modelo de uma viga biapoada fletida por suposto carregamento homogêneo.

A Figura 6 indica a distorção na Amostra 4 correspondente a chapa aquecida com maçarico a 1000 °C. Na Amostra 3 referente a chapa aquecida a 600 °C a distorção não foi significativa. Considerando-se as Figuras 7 e 8, é interessante notar que a forma das curvas das distribuições das tensões são parecidas se o eixo das abcissas da Figura 8 for deslocado de 150 N/mm<sup>2</sup> para baixo. O rebaixamento da distribuição das tensões residuais da Amostra 4 está associado a sua distorção, Figura 6, que apresenta geometria similar a distorção da Amostra 1 efetuada com solda elétrica. Desta forma a configuração de equilíbrio entre a distribuição das tensões residuais e a distorção na Amostra 4 pode ser interpretada de modo semelhante à da Amostra

1. Assim, caso não ocorresse distorção na Amostra 4 sua distribuição de tensões seria semelhante a da Amostra 3, menos nas proximidades da linha de aquecimento, onde em decorrência da maior temperatura de aquecimento apresentam-se outros fenômenos causadores de tensões residuais. Por outro lado, nas Amostras 1 e 2, mesmo considerando suas distorções com arqueamento inversos, as distribuições das tensões residuais sobre o cordão de solda e sua borda apresentam semelhanças. Neste caso, a soldagem elétrica com eletrodo revestido introduz fatores adicionais que participam da alteração da distribuição das tensões residuais nesta região, tais como: o reforço do cordão de solda, a presença da camada de escória, a geometria da poça de fusão, a heterogeneidade térmica local, etc.

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados permitem demonstrar que a presença de distorções nas peças soldadas conduzem a modificações significativas na distribuição de tensões residuais. Em chapas de pequena espessura, a ocorrência de flambagem no processo de distorção pode conduzir à diferentes configurações geométricas das mesmas e desta forma, peças soldadas sob condições iguais passam a apresentar distribuição de tensões residuais distintas. Sobre

cordões de solda e próximo a sua borda o nível e forma da distribuição das tensões residuais apresentam-se semelhantes, independentes da geometria da distorção.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

ANTUNES, A. E. B., Emprego de um Difractômetro  $\psi$ , Baseado no Método do  $\sin^2 \psi$ , para Determinação de Tensões por Difração de Raios-X, *XL Congresso Anual da ABM*, Rio de Janeiro, 1985.

ANTUNES, A. E. B., Tensões Residuais na Soldagem, Aspectos Básicos, *J. of the Braz. Soc. Mechanical Sciences*, Vol. 17, nº 4, PP. 394-403, 1995.

MALISIUS, R., Schrumpfung, Spannungen um Risse beim Schweißen, *Deutscher Verlag für Schweißtechnik (DVS)*, Düsseldorf, 1977.

MASUBUCHI, K., Analysis of Welded Structures, *Pergamon Press*, Oxford, 1980.

VINOKUROV, V. A., Welding Stresses and Distortion: Determination and Elimination, *The British Library Board*, 1977.

**Direitos autorais:** Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.