

# **ALÍVIO DE TENSÕES POR VIBRAÇÃO NA RECUPERAÇÃO DE GRANDES COMPONENTES PELO PROCESSO DE SOLDAGEM**

NELSON FERREIRA FILHO (FACULDADES KENNEDY DE BELO HORIZONTE)

nelsonferreira22@gmail.com

EDUARDO GONÇALVES MAGNANI (FACULDADES KENNEDY DE BELO HORIZONTE) eduardogmagnani@yahoo.com.br

GERALDO MAGELA PEREIRA SILVA (FACULDADES KENNEDY DE BELO HORIZONTE) magela.silva@ig.com.br

LUCAS CRISTIANO FERREIRA ALVES (FACULDADES KENNEDY DE BELO HORIZONTE) alves@globo.com

GILMAR RODRIGUES NUNES (FACULDADES KENNEDY DE BELO HORIZONTE)

grnunes1964@gmail.com

## **Resumo**

O alívio de tensões é utilizado na indústria para aliviar tensões residuais da soldagem. O tradicional é o tratamento térmico de alívio de tensões, onde a peça é aquecida em forno. Uma alternativa é o alívio de tensões por vibração, onde são introduzidas vibrações na peça, aliviando tensões, sem alterar propriedades mecânicas. O objetivo deste trabalho é levantar os benefícios do alívio por vibração em relação ao tradicional, avaliando sua performance no processo de recuperação por soldagem.

**Palavras-chave:** alívio de tensões, tensões residuais, soldagem, tratamento térmico, vibração.

## **1. Introdução**

O tema deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é o processo de alívio de tensões por vibrações “Vibration Stress Relief” (VSR). O método VSR, também aplicado na recuperação de grandes componentes pelo processo de soldagem, difere do método tradicional, onde o tratamento térmico de alívio de tensões tradicional, fica praticamente inviável pelo alto custo, dificuldades na logística, limitação de fornecedores, etc.

O método VSR surgiu na década de 50 nos Estados Unidos, onde se tem os primeiros registros de execução desse processo. Este método introduz vibrações de alta amplitude e

baixa frequência por um certo período de tempo, baseado na massa da peça. Esse processo alivia as tensões residuais em peças de metal e soldas sem distorcê-las ou alterar a resistência à tração, o ponto de escoamento ou a resistência à fadiga da peça.

Um dos benefícios mais importantes do uso do processo VSR, está na capacidade de aliviar a tensão de peças em qualquer etapa do processo de fabricação, tais como após soldagem, usinagem, desbaste, furação ou retífica.

Antes do advento do método VSR, o processo mais utilizado para alívio de tensões em materiais soldados era, e ainda é, o tratamento térmico de alívio de tensões tradicional pós recuperação com soldas, que vem sendo empregado na indústria já há bastante tempo, desde a década de 20 no século passado, com amadurecimento durante o período da segunda guerra mundial. O principal objetivo do tratamento térmico de alívio de tensões tradicional é o de reduzir as tensões residuais, causadas pelo processo de soldagem. Neste tratamento, a peça recuperada com solda é aquecida até que o ponto de fluência fique reduzido a valores inferiores às tensões residuais. Assim, as tensões provocam deformações plásticas locais e diminuem de intensidade, ao mesmo tempo que diminui também a dureza.

As tensões residuais na solda, durante o processo de recuperação por soldagem em grandes componentes, são geradas por escoamentos parciais localizados que ocorrem durante e logo após a soldagem, que são: tensões de contração, tensões devido ao resfriamento superficial mais intenso e tensões devido à transformação de fase.

Os tratamentos térmicos de alívio de tensões residuais (tradicional), podem ser divididos em tratamentos realizados com a peça inteira no interior de um forno, tratamentos realizados por aquecimento interno da peça e tratamentos localizados das soldas.

O objetivo do trabalho é analisar o processo de alívio de tensões por vibração (VSR), levantando seus benefícios em relação ao método tradicional de tratamento térmico para alívio de tensões, avaliando sua performance no processo de recuperação por soldagem de grandes componentes, de forma a substituir o processo de tratamento térmico de alívio de tensão tradicional, evidenciando os benefícios levantados, descrevendo os processos de alívio de tensões por vibração VSR e tratamento térmico para alívio de tensões tradicional, fazendo a comparação entre os dois processos, para destacar benefícios e restrições e identificando empresas na região de Lagoa Santa e Vespasiano, com potencial para contratação do serviço de alívio de tensões por vibração VSR.

O conhecimento do processo VSR permitirá à empresa ter uma alternativa de mercado eficaz e com custo muito mais baixo em relação ao processo tradicional, com redução de resíduos, de gases na atmosfera, e de riscos de acidente, além de outros.

## 1.1 Vibração

A vibração, conforme referenciada por alguns autores, atua na base do processo de alívio de tensão VSR. Ela é introduzida com alta frequência e baixa amplitude no interior das peças por um tempo determinado.

Vibração é um termo que descreve a oscilação em um sistema mecânico. É definido por frequência (ou frequências) e amplitude. Ou o movimento de um objeto físico ou estrutura ou, alternativamente, uma força oscilante aplicada a um sistema mecânico é vibração em um sentido genérico. Conceitualmente, o tempo-história de vibração pode ser considerado para ser sinusoidal ou harmônico simples na forma. A frequência é definida em termos de ciclos por unidade de tempo, e a magnitude em termos de amplitude (o máximo valor de uma quantidade sinusoidal). A vibração encontrada na prática, freqüentemente não tem esse padrão regular. Pode ser uma combinação de várias quantidades sinusoidais, cada uma com uma frequência e amplitude diferentes. Se cada componente de frequência é um múltiplo integral da frequência mais baixa, a vibração se repete após um determinado intervalo de tempo e é chamado periódico. Se não houver relação integral entre os componentes de frequência, não há periodicidade e a vibração é definida como complexa. (HARRIS, 1996, p. 1.1).

## 1.2 Processo de alívio de tensões por vibração

O método VSR ainda tem sido objeto de discussão em relação à sua eficácia, mesmo com o reconhecimento e citação na American Welding Society (AWS). Mesmo assim, são evidentes as suas vantagens em relação ao tratamento térmico de alívio de tensões pelo método tradicional, com enormes benefícios relacionados a custo, qualidade e meio ambiente, quando os métodos são comparados entre si.

Conforme SHANKAR (1982, p.2 *apud*. JIA-SIANG, 2014, p. 98), o método VSR tem sido utilizado com muito sucesso para aliviar ou redistribuir tensões e, portanto, proteger contra falhas de serviços, tais como trincas por corrosão sobre tensão. O tratamento térmico de alívio de tensão convencional é um popular método de alívio de tensões na indústria de formação de metais. Enquanto este tratamento produz materiais isentos de tensões, ele tem numerosas desvantagens, tais como longo tempo de processo, significativo consumo de energia, formação de carepas na superfície e substanciais efeitos nas propriedades mecânicas.

O processo VSR não sofre destas desvantagens, embora o desempenho do alívio de tensão do processo VSR permanece inferior ao do tratamento térmico, a técnica VSR tem

características benéficas, tais como seu pequeno volume de material requerido, baixo custo, mínimo consumo de energia e curto tempo de tratamento. Métodos VSR foram usados para melhorar a qualidade do metal, especialmente para melhorar as propriedades mecânicas e liberar as tensões residuais. Até agora, o uso de frequência ressonante ou sub-ressonante é considerada como mais eficaz.

### **1.3 Processo de tratamento térmico para alívio de tensões no método tradicional**

O tratamento térmico de alívio de tensões consiste no aquecimento uniforme e controlado de um aço, soldado ou submetido a qualquer processo que gere tensões residuais, a uma temperatura adequada (inferior à temperatura crítica) por um tempo suficiente, seguido por resfriamento, também uniforme e controlado, de modo a relaxar essas tensões sem introduzir alterações micro estruturais.

Dependendo da forma e do tamanho da peça, o tratamento térmico para o alívio de tensão residual pode ser realizado aquecendo toda a peça, ou partes dela, num forno; ou transformando-o numa câmara de combustão instalando um queimador temporário nele. (CRISI, 2006, p.4).

### **1.4 Tensões residuais em soldas**

Segundo Heinze et al (2012, p. 12) a presença de tensões residuais geradas durante processos de manufatura, tais como soldagem, podem ser um problema na indústria metal mecânica. Ainda de acordo com Pedrosa et al. (2011, p. 298), no que se refere aos estados de tensões residuais, dois pontos devem ser destacados. O primeiro é que a presença de tensões residuais é uma questão de preocupação para a indústria metal mecânica e conseqüentemente para qualquer projeto de engenharia. Isto é devido ao fato de que, tensões residuais tem efeitos nocivos sobre a vida de fadiga e trincas de corrosão por estresse de componentes estruturais.

Existem três tipos de tensões residuais: tensões de contração, tensões devido ao resfriamento superficial mais intenso e tensões devido à transformação de fase. Estas tensões são objeto de estudo de autores quanto às suas influências em estruturas de componentes soldados.

## **1.5 Processo de soldagem**

Processos de soldagem são amplamente utilizados na indústria metal mecânica em fabricação, montagens, recuperações, etc. Os processos mais utilizados na recuperação de grandes componentes são: o Metal Inerte Gás (MIG), Metal Ativo Gás (MAG), eletrodo revestido e Tungstênio Inerte Gás (TIG).

Em seu contexto mais amplo, a soldagem é um processo no qual materiais do mesmo tipo ou classe fundamental são reunidos e levados a se unirem (e se tornarem um) através da formação de ligações químicas primárias (e, ocasionalmente, secundárias) sob a ação combinada de calor e pressão (MESSLER, 2008, p.3).

A “International Standardization Organization” (ISO) Standard R 857 (1958), afirma que: “soldagem é uma operação na qual é obtida a continuidade entre peças para montagem, por vários meios” (ISO,1958).

Dentre os processos de soldagem na indústria metal mecânica, destacam-se soldagem MIG (Metal Inert Gas) e MAG (Metal Active Gas), são processos que conferem maior qualidade e velocidade na soldagem, em comparação com a soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding-SMAW). Segundo Araújo (2014, p. 1479) a soldagem com arco elétrico com gás de proteção, sigla em inglês GMAW (Gas Metal Arc Welding), conhecida como soldagem MIG/MAG, trata-se de um processo de soldagem a arco elétrico, entre a peça e o consumível em forma de arame, fornecido por um alimentador contínuo, realizando a união de materiais metálicos pelo aquecimento e fusão.

## **1.6 Propriedades mecânicas**

De acordo com Geary e Miller (2013, p. 68), a resistência à tração de um metal é sua habilidade de resistir à ruptura. Ela é determinada, colocando-se uma amostra do metal em uma máquina de tração, que tem a capacidade de puxar a amostra para os dois lados como uma força elevada, e registrar o ponto em que a amostra se rompe em dois pedaços. A resistência à tração de um metal é expressa ou medida em meganewton por metro quadrado ( $MN/m^2 = Mpa$ , ou milhares de libra por polegada quadrada (kpsi)). Esta propriedade mecânica não é alterada com o processo VSR.

## **2. Metodologia**

A abordagem dedutiva deste trabalho será privilegiada através da pesquisa, principalmente por se tratar de comparação entre dois métodos. A técnica de pesquisa será descritiva e a abordagem do problema será qualitativa. Serão entrevistadas pessoas em empresas para a coleta de dados, a fim de compor as informações necessárias, para atender os objetivos deste trabalho.

A pesquisa será a exploratória, devido ao tema deste trabalho ser pouco conhecido, sendo necessário ao pesquisador um aprofundamento maior no tema, para apresentação aos entrevistados.

Com o intuito de levantar empresas da região de Vespasiano e Lagoa Santa, com potencial de contratação do serviço de alívio de tensão por vibração VSR, a pesquisa de campo será realizada para a aplicação de um roteiro de entrevista, onde serão destacados os responsáveis técnicos e comerciais, para serem entrevistados, devido ao conhecimento deles sobre o tema deste trabalho.

Para aplicação da pesquisa, serão consideradas empresas da região de Vespasiano e Lagoa Santa cujos produtos e/ou serviços, tenham demanda relacionada com o método VSR e/ou com o tratamento térmico de alívio de tensões tradicional. A amostra será composta por responsáveis técnicos e comerciais.

Como opção para a coleta de dados foi elaborado um roteiro de entrevista constituído por oito questionamentos, cujos argumentos serão apresentados aos entrevistados para constituir respostas livres, com base no conhecimento que cada um tiver sobre o tema, conforme apêndice A no fim deste artigo.

### 3- Resultados e Discussão

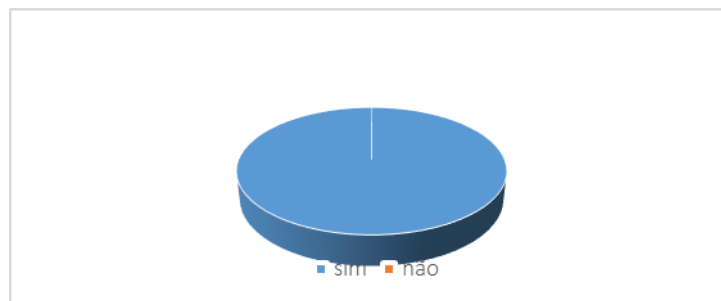
Após coleta dos dados em pesquisa de campo, apresento abaixo os resultados, ilustrados em gráficos enumerados, relacionados às perguntas com respostas fechadas.

Figura 1 – Existe demanda de tratamento para alívio de tensões de soldagem nas dependências da empresa?



Fonte: Os autores, 2017.

Figura 2 – Conhece o método de tratamento térmico de alívio de tensões?



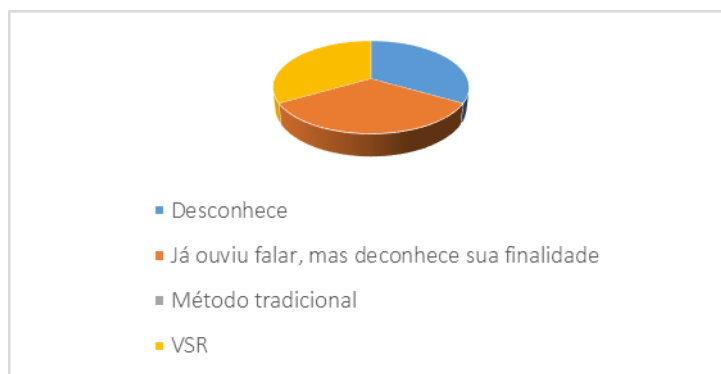
Fonte: Os autores, 2017.

Figura 3 – Conhece o tratamento de alívio de tensões por vibração, o Vibration Stress Relief (VSR)?



Fonte: Os autores, 2017

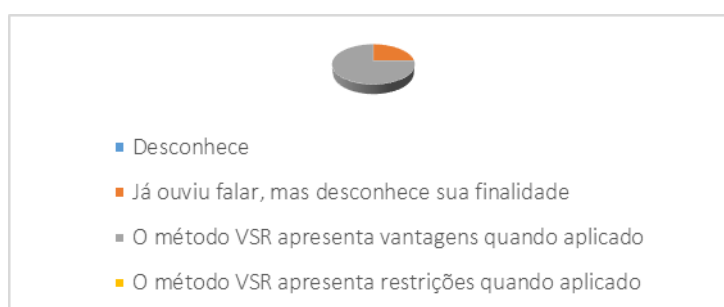
Figura 4 – Entre o método tradicional e o VSR, qual traz mais vantagens para a empresa?



Fonte: Os autores, 2017.

O representante de uma das empresas entrevistadas não respondeu à pergunta, a alegação foi de que, em algumas situações, o tratamento térmico de alívio de tensões apresenta vantagens e em outras, o alívio de tensões por vibração.

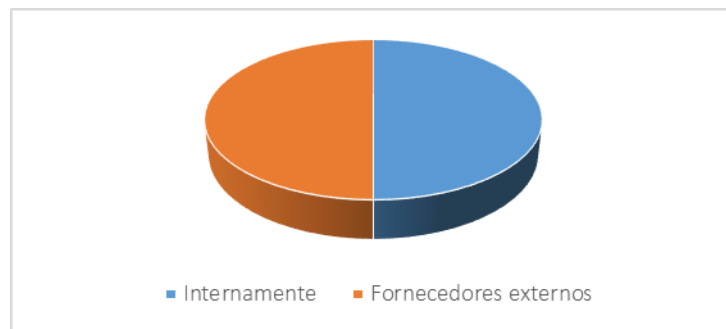
Figura 5 – Há vantagens e/ou restrições no uso do VSR?



Fonte: Os autores, 2017.

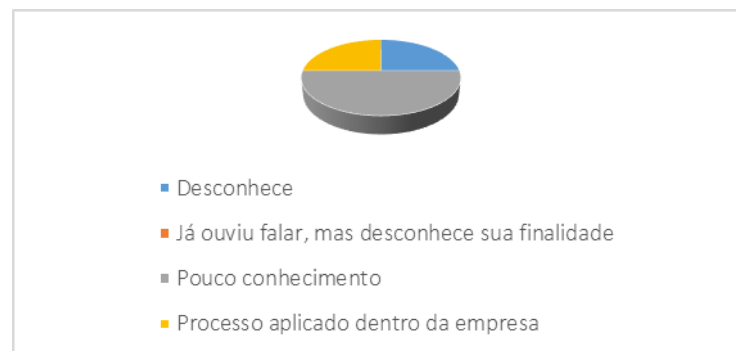


Figura 6 – O tratamento é feito internamente ou em fornecedores externos?



Fonte: Os autores, 2017.

Figura 7 – Qual a sua opinião sobre o VSR?



Fonte: Os autores, 2017.

Os resultados obtidos indicam que em todas as empresas entrevistadas, existe demanda de tratamento para alívio de tensões de soldagem, seja em processos de recuperação, ou de fabricação.

Das empresas entrevistadas, 100% delas informaram que conhecem o método de tratamento térmico de alívio de tensões, o método convencional. O percentual é compreensível, já que o tratamento térmico de alívio de tensões é muito difundido nas empresas metal/mecânica.

A metade das empresas respondeu que conhecem o tratamento de alívio de tensões por vibração, o VSR, o que representa que de forma gradativa, este processo começa a ser conhecido pelas empresas.

Quando questionadas com relação a qual método de alívio de tensões apresenta mais vantagens para a empresa, seja no custo x benefício, velocidade, logística, etc., cada empresa respondeu dentro das suas particularidades, relacionadas com os processos de soldagem, e tipo de alívio de tensão escolhido. Como cada empresa respondeu uma alternativa diferente, e

uma delas não respondeu, alegando que existem vantagens em ambos os métodos, não foi possível determinar qual o método de alívio predominante na região onde foram feitas as entrevistas.

Perguntadas se há vantagens e/ou restrições no uso do método VSR para o alívio de tensões, 75% informou que o método apresenta vantagens em sua aplicação. No geral, as respostas refletem que, quem conhece o método VSR, enxerga nele vantagens em relação ao método tradicional.

Com relação a qual tipo de método para o alívio de tensões após soldagem é utilizado nos processos das empresas, todas citaram que utilizam processos térmicos, seja em forno, feito de forma localizada com aquecimento por chama, ou utilizando resistência elétrica, portanto, nenhuma delas utiliza ainda o método VSR em seus processos.

Foi perguntado onde é realizado o tratamento de alívio de tensões, se internamente ou em fornecedores externos, as respostas foram de que 50% das empresas fazem internamente e 50% externamente. Com o conhecimento do método VSR, o percentual de 50% fazendo o serviço fora da empresa, tende a diminuir ou chegar a 0%, principalmente no caso de recuperação ou fabricação de grandes componentes, dadas as facilidades da aplicação do método, sem a necessidade de remoção do componente para envio a fornecedor externo, o que implica em logística, prazo, custo, etc.

Finalizando, com relação ao questionamento “qual a sua opinião sobre o VSR, o maior percentual (50%) das respostas foi para a opção de “pouco conhecimento”, o que também acompanha o resultado do questionamento sobre o conhecimento do processo VSR, como a metade desconhece o processo, por consequência, não tem conhecimento suficiente do método.

#### **4- Conclusão**

Mesmo com o reconhecimento da *American Welding Society* (AWS), Sociedade Americana de Soldagem, o alívio de tensões por vibração ainda é pouco conhecido no mercado, e mesmo entre as empresas que o conhecem, ainda existe desconfiança em relação à sua eficácia, quando comparado com o tratamento térmico de alívio de tensões.

As respostas do questionário aplicado às empresas evidenciam que o método VSR ainda é desconhecido no mercado, mesmo em empresas já com longa histórica no mercado de recuperação e fabricação utilizando processos de soldagem, como duas das entrevistadas.

Mesmo com essa dificuldade, as vantagens do método VSR em relação ao tratamento térmico de alívio de tensões, quando aplicados em grandes componentes, após processos de soldagem, seja em recuperação, ou em fabricação, são evidentes. Com o VSR, é possível fazer o alívio no local de execução da soldagem, sem a necessidade de envio do componente para fornecedor externo, o que representa redução nos custos com transporte, manuseio do componente e de execução do alívio, já que seu custo é muito inferior em relação ao método convencional, onde geralmente as empresas orçam de acordo com o tamanho e peso do componente. Outra grande vantagem é o tempo para execução do alívio que, dependendo do tamanho e volume do componente, pode levar entre três e seis horas de execução, sendo de grande importância para o *lead time* do processo.

## Referências

AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). **Welding process advanced**. Miami, Flórida, Estados Unidos da América, 1999.

ARAÚJO, Giovanni Moraes, **Normas Regulamentadoras comentadas e ilustradas**, 8 ed., LOCAL: Editora Gerenciamento, 2014.

CRISI; Mendonça, **Alívio de Tensões de Soldas por Tratamento Térmico e Vibração: Uma Comparação Entre os Dois Métodos**, Rio de Janeiro, p.4, 2006.

GEARY, Don; MILLER, Rex. **Soldagem**. 2 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2013.

HARRIS, Cyril M. **Shock and vibration handbook**. 4 ed. Michigan, Estados Unidos da América: Editora Mcgraw-Hill, 1996.

HEINZE, C., SCHWENK, C., RETHMEIER, M., **Numerical calculation of residual stress development of multi-pass gas metal arc welding**. Golden, CO, USA, p.12–19, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO), Organização Internacional de Normalização. **Standard R857**, (sl). (SN), 1958.

JIA-SIANG, Wang et. al. Materials Science & Engineering A. **The effect of residual stress relaxation by the vibratory stress relief technique on the textures of grains in AA 6061 aluminum alloy**, Taiwan, p. 98-107, março, 2014.

MESSLER, Robert W. **Principles of welding – Processes, Physics, Chemistry and Metallurgy**. New York (USA): Editora John Wiley & sons, p. 8, 2008.

PEDROSA, P.D., REBELLO, J.M.A., CINDRA FONSECA, M.P. **Residual stress state behaviour under fatigue loading in duplex stainless steel**. Rio de Janeiro, p.298-303, 2011.

SHANKAR, S., **Vibratory Stress Relief of Mild Steel Weldments**, PhD Dissertation, Oregon Graduate Center, U. of Oregon, 1982.

## **Anexos**

### **QUESTIONÁRIO APLICADO ÀS EMPRESAS DO SETOR METAL/MECÂNICA**

1) Existe demanda de tratamento para alívio de tensões de soldagem, nas atividades da empresa?

- ( ) SIM
- ( ) NÃO

2) Qual tipo de tratamento para o alívio de tensões após soldagem é utilizado pela empresa?

- Resposta: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3) O tratamento é feito internamente ou em fornecedores externos?

- ( ) INTERNAMENTE
- ( ) FORNECEDORES EXTERNOS

4) Conhece o método de tratamento térmico de alívio de tensões?

- ( ) SIM
- ( ) NÃO

5) Conhece o tratamento de alívio de tensões por vibração, o *Vibration Stress Relief* (VSR)?

- ( ) SIM
- ( ) NÃO

6) Qual sua opinião sobre o VSR?

- ( ) Desconhece
- ( ) Já ouvi falar, mas desconhece sua finalidade
- ( ) Pouco conhecimento
- ( ) Processo aplicado dentro da empresa

7) Há vantagens e/ou restrições no uso do VSR?

- ( ) Desconhece
- ( ) Já ouvi falar, mas desconhece sua finalidade
- ( ) O método VSR apresenta vantagens quando aplicado
- ( ) O método VSR apresenta restrições quando aplicado

8) Entre o método tradicional e o VSR, qual traz mais vantagem para a empresa?

- ( ) Desconhece
- ( ) Já ouvi falar, mas desconhece sua finalidade
- ( ) Método tradicional
- ( ) VSR