

NOVO MÉTODO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE EXPANSÃO DE FOLHAS METÁLICAS¹

Paulo Roberto Campissi²
Luciano Pessanha Moreira³
Eric Jeronimo de Oliveira Alvarez⁴
Carlos Sérgio da Costa Viana⁵
William Ribeiro⁶

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma nova metodologia para determinar a capacidade de conformação de folhas de flandres com baixo carbono destinadas à produção de latas de 3 peças expandidas mecanicamente. Estas folhas de flandres são produzidas pela Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). A partir da aplicação desta nova metodologia determinam-se os parâmetros de expansão a serem adotados, o que torna possível especificar com segurança a folha de flandres adequada para o formato de embalagem solicitado pelo cliente. Este novo método permitiu obter valores limites de expansão de materiais nunca antes observados por meio dos ensaios convencionais, além de proporcionar um melhor conhecimento das variáveis presentes em processos de expansão mecânica de embalagens em escala industrial.

Palavras-chave: Folha de flandres; Limite de expansão; Conformação.

NEW EXPERIMENTAL METHOD TO DEFINE THE LIMIT STRAINS OF TINPLATE METALLIC SHEETS

Abstract

The present work aims at presenting a new methodology to determine the formability of low-carbon tinplate metallic sheets used for the production of 3-piece mechanically expanded cans. The tinplate sheets are produced by the CSN. From the use of this new method the expansion parameters can be found, making possible to specify with safety the tinplate sheet which is adequate to the shape can piece required by the client. This new methodology allowed obtaining expansion limits which had never been found using traditional testing and also for better understanding of the main variables in mechanical expansion processes used in industrial scale.

Keywords: Tinplate; Limit strains; Sheet metal forming.

¹ Contribuição técnica ao 47º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 26 a 29 de outubro de 2010, Belo Horizonte, MG.

² Engenheiro Metalúrgico, MSc., Coordenador de Projetos Especiais- Embalagens, CSN, pcampissi@csn.com.br

³ Engenheiro Mecânico, D.Sc., Professor Adjunto, Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda, Universidade Federal Fluminense, luciano.moreira@metal.eeimvr.uff.br

⁴ Graduando em Engenharia Metalúrgica, Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda, Universidade Federal Fluminense, eric.alvarez@csn.com.br

⁵ Engenheiro Metalúrgico, PhD., Professor Adjunto, Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda, Universidade Federal Fluminense,

⁶ Administrador, Técnico Especialista em Desenvolvimento de Produtos, CSN, williamr@csn.com.br

1 INTRODUÇÃO

De acordo com pesquisas recentes, o consumo mundial de bebidas e produtos alimentícios acondicionados em embalagens vem crescendo a cada ano. A necessidade de acondicionar produtos difere de região para região no mundo, de acordo com as condições climáticas e a disponibilidade do produto no mercado. A variedade de produtos que têm a sua integridade preservada por uma embalagem cresceu de maneira exponencial, possibilitando a produção em grande escala e a redução do preço do produto final. Nos últimos anos, no Brasil, ao fazer-se uma análise do consumo por tipo de material da embalagem, obteve-se a seguinte distribuição:⁽¹⁾ plásticos (51%), celulose (27%), metais (17%), vidro (5%). Com o grande crescimento do mercado de embalagens e com o mercado consumidor cada vez mais exigente, foram desenvolvidas técnicas para atribuir formas aos corpos das latas, a princípio cilíndricas, por um processo de expansão, aumentando, dessa forma, a atratividade e funcionalidade da embalagem. Esta expansão pode ser obtida por métodos mecânicos, hidráulicos e pneumáticos. Estes processos já são utilizados em países como México, Japão, Alemanha, França, entre outros, sendo que, na maioria dos casos, a expansão é efetuada por método mecânico. A funcionalidade da forma da embalagem é mais evidente nos casos em que a empunhadura e a portabilidade são as características mais desejáveis do produto, como nos casos de granadas defensivas e de emprego não letal. No Brasil, a Indústria Bertol implantou em sua planta, em Passo Fundo, uma linha de expansão para embalagens de 320 ml. A linha já está produzindo há cerca de 6 anos, com capacidade de produção de 500 latas/min. No ano de 2004, a Nestlé/Brasil também inovou com o lançamento de uma lata exclusiva para o leite condensado Moça, com uma produção de 1,5 milhões de latas/mês. Em particular, o desenvolvimento desta lata foi feito em escala piloto em uma máquina expansora instalada na Gerência de Desenvolvimento da CSN. O caso mais recente é o “Projeto da Lata Expandida para o Nescau” onde neste caso acontece uma inovação por completo Embalagem Expandida + Produto (Nescau 2.0). A Figura 1 ilustra algumas aplicações em embalagens.



Figura 1 – Embalagem Nescau tradicional e expandida.

Como podemos observar a partir do exemplo da embalagem de Nescau, o mercado sinaliza para um aumento na demanda em que o substrato aço atenda as necessidades inconscientes dos consumidores. Estas exigências normalmente são apontadas por profissionais de Marketing e, em seguida, traduzidas por profissionais

de Design e, por fim, idealizadas por profissionais de Engenharia. Para que estas embalagens inovadoras sejam concebidas de forma ótima e, assim, viabilizando os projetos em escala industrial, se fez necessário a criação de uma nova metodologia para determinação dos limites de expansão de Folhas Metálicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Para elaboração deste trabalho foram utilizadas Folhas de Flandres produzidas via linha de recozimento contínuo de simples redução com 0,18 mm de espessura, por apresentarem uma maior estabilidade dos valores de propriedades mecânicas e menor custo de produção em relação ao processo via fornos de recozimento em caixa.

2.2 Métodos

2.2.1 Confeção dos canudos

Os canudos foram confeccionados na Indústria Rimet em Resende/RJ com diâmetro de 73 mm e altura de 174 mm, envernizados internamente (verniz Epóxi incolor com camada seca de 5,8 g/m²) e, litografados com quadrados de 2,5 mm no lado externo, conforme apresentado na Figura 2.

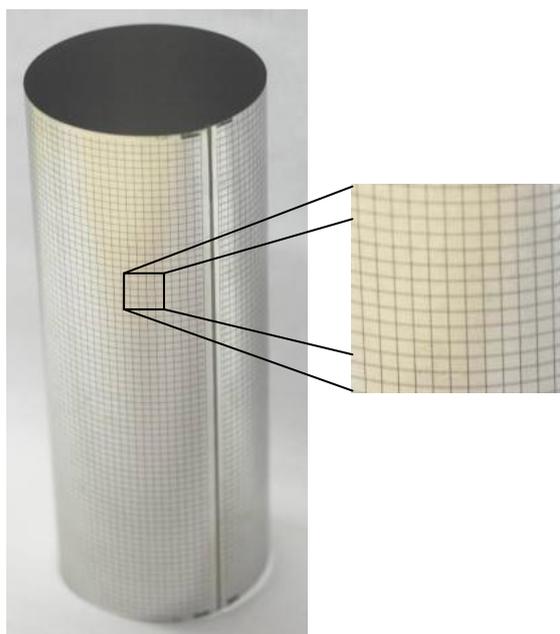


Figura 2 – Canudo soldado litografado com grade de 2,5 mm.

2.2.2 Confeção das ferramentas de expansão

Foram produzidos quatro conjuntos de ferramentas, com perfis de diferentes raios meridionais (5 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm e paralelo), buscando obter a partir de canudos soldados de folha de flandres, deformações circunferenciais positivas (ϵ_1) e deformações meridionais negativas (ϵ_2), conforme Figura 3.

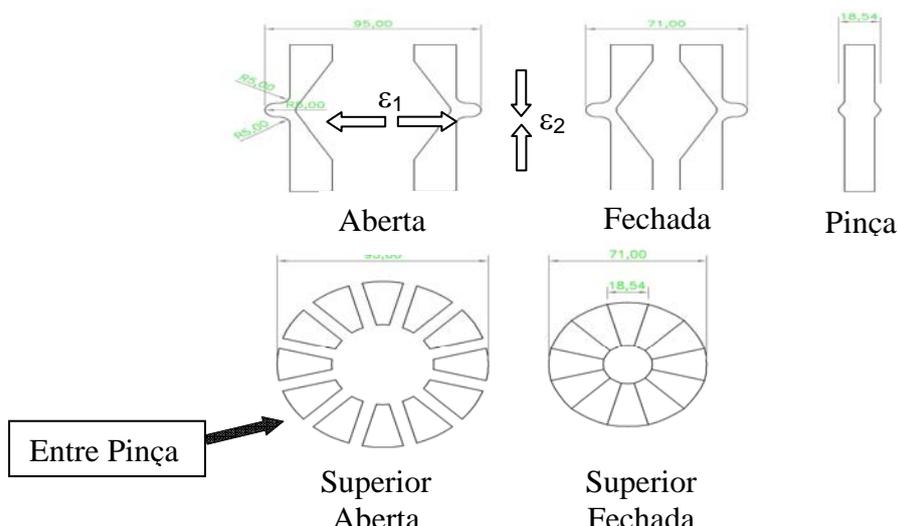


Figura 3 – Desenho esquemático do ferramental com raio de 5 mm.

Para que o trabalho fosse validado, alguns detalhes de construção foram constantes para todas as ferramentas, a saber:

- diâmetro inicial;
- diâmetro final máximo;
- número de pinças por ferramenta (12);
- largura das pinças;
- rugosidade superficial das ferramentas - 0,15 μm ; e
- acionamento do ferramental - realizado por um sistema de cone com ângulo constante para todas as ferramentas.

Diante destas condições de contorno apresentadas a única variável que temos então são os diferentes raios meridionais propostos, (5 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm e paralelo).

2.2.3 Ensaios de tração uniaxial

Os ensaios de tração uniaxial, adotados para avaliar a anisotropia plástica e o expoente de encruamento do material, foram realizados em uma máquina de tração Instron de 15 toneladas da CSN.

2.2.4 Expansão mecânica

A expansão dos corpos de prova foi realizada na máquina de expansão piloto do Centro de Inovações da CSN. O cordão de solda foi posicionado na superfície da pinça, evitando assim que ocorresse ruptura precoce dos corpos de prova por interferência do cordão.

2.2.5 Medidas de deformação

As medidas de deformação foram realizadas no sistema Asame modelo 4.120 da Universidade Federal Fluminense em Volta Redonda. As medições foram realizadas em regiões adjacentes à região de fratura.

2.2.6 Análise química

A análise química com amostras na forma de chapa, realizada no Centro de Pesquisas da CSN, foram executadas via espectrometria de emissão ótica e via absorção atômica.

2.2.7 Análise metalográfica

A análise metalográfica sem ataque químico foi realizada nas amostras para avaliar a sanidade interna dos materiais, para isso foi utilizada a norma ASTM E 45⁽²⁾ Método A. A análise metalográfica com ataque químico foi realizada nas amostras para avaliar microestrutura e tamanho de grão ferrítico. Para determinação de tamanho de grão ferrítico foi utilizada a norma ASTM E-112.⁽³⁾

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios para caracterização do metal base, e em seguida, são apresentados resultados experimentais referente a metodologia proposta.

3.1 Análise Química

Os resultados da composição química em % de peso estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do aço –CSN (% peso)
 Elementos (%)

Mn	P	Si	Cu	N	Cr
0,2948	0,0226	0,0082	0,0034	0,0029	0,0083
Mo	C	S	B	Ti	Al
<0,0001	0,043	0,010	<0,0001	<0,0001	0,0409

3.2 Análise Metalográfica

Os resultados da análise de sanidade interna apresentaram inclusões não metálicas do tipo óxido fino quantidade ½. A análise da microestrutura mostrou que a estrutura do material é composta por grãos ferríticos poligonais, associados a cementita globular fina dispostas em alinhamento com tamanho de grão ferrítico de 12,5 ASTM, conforme Figura 4.



Figura 4 – Microestrutura característica do material.

3.2 Ensaios de Tração Uniaxial

Buscou-se através dos ensaios de tração uniaxial avaliar as variações de propriedades no plano da chapa relacionadas com resistência mecânica, encruamento e anisotropia plástica, este determinado com interrupção do ensaio de tração a 12% de deformação. A seguir a Tabela 2 resume os resultados experimentais obtidos no ensaio de tração uniaxial para 0, 45 graus e 90 graus. Esta tabela apresenta resultados do limite de escoamento a 0,2%, σ_e , limite de resistência, σ_r , expoente de encruamento, n, coeficiente de Lankford, R, e alongamento total, Al%.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas

α (graus)	σ_e (MPa)	σ_r (MPa)	Al%	R	n
0	423	451	17,2	0,71	0,127
45	419	446	15,4	0,65	0,126
90	418	434	17,8	0,79	0,123

3.3 Testes de Expansão

Neste item são mostrados resultados de deformação obtidos em regiões simétricas à fratura do corpo de prova. Para este teste foi utilizado dois corpos de prova para cada ferramental (5 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm e Paralelo) sendo os mesmos deformados até a fratura. A Figura 5 apresenta os conjuntos de ferramentas em função do raio das pinças.

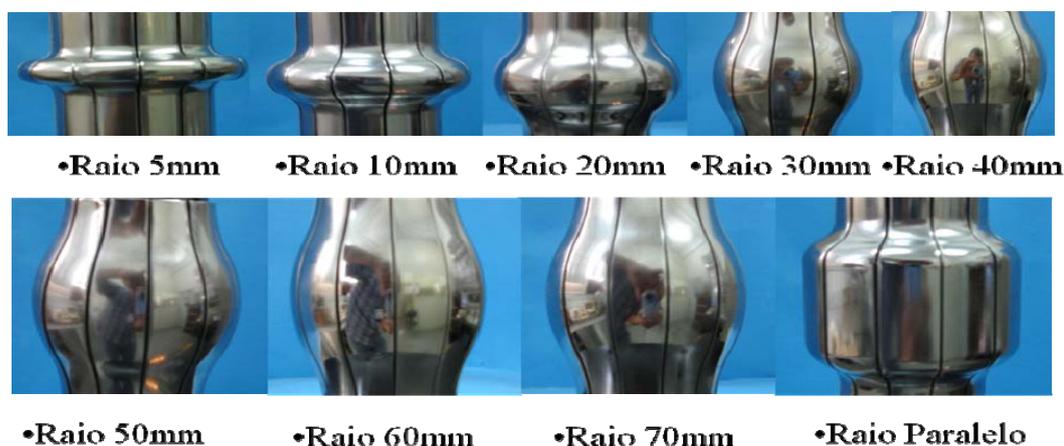


Figura 5 – Ferramentais desenvolvidos para os ensaios de expansão.

A Figura 6 mostra uma comparação entre os valores de deformação principal em uma escala percentual para áreas localizadas nas regiões de superfície da pinça (maior atrito) e regiões entre pinças (menor atrito) para o ferramental de raio 50 mm. A região da superfície da pinça apresentou uma deformação principal de 13%, enquanto a região entre pinças, 18%. Como esperado, as fraturas ocorreram em regiões entre pinças, assim a curva limite expansão será levantada em regiões de entre pinças, adjacentes a fratura, conforme Figura 6.

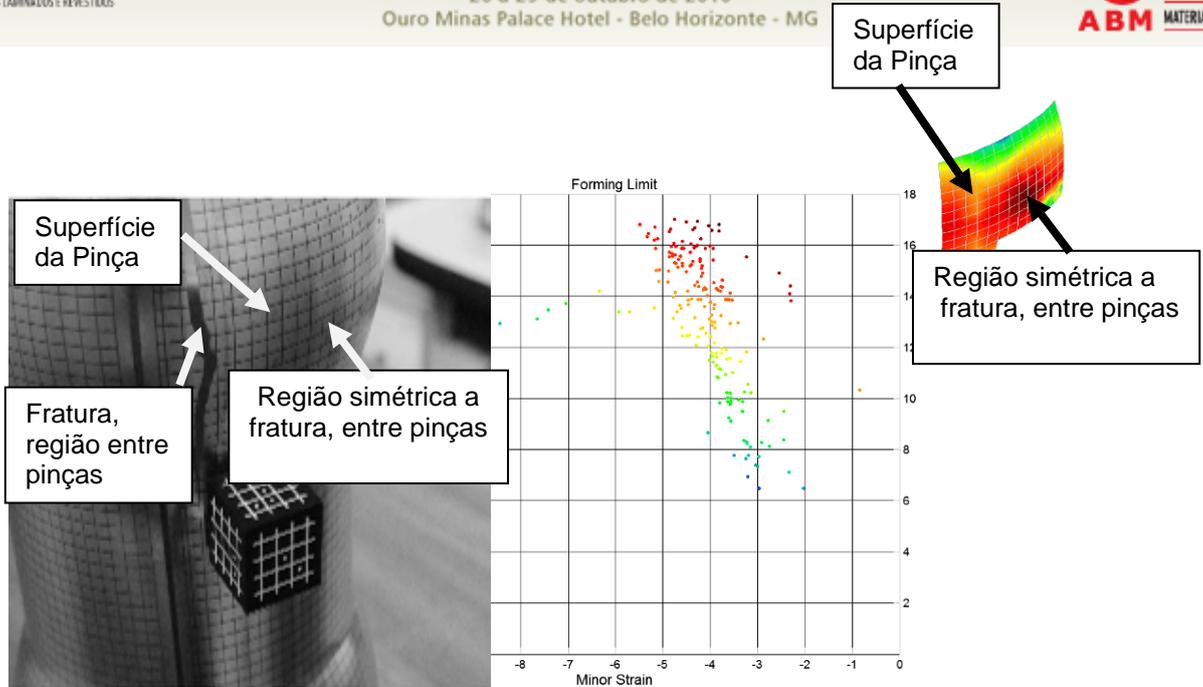


Figura 6 – Medidas de deformação região adjacente a fratura ferramental com raio de 50 mm.

A partir desta configuração de ensaio, tomando-se, porém, um número reduzido de corpos de prova foi obtido o limite de expansão. Para isto as medidas de deformações foram utilizadas apenas deformações da região simétrica a fratura, proporcionando um limite expansão simétrica a fratura (LE_{SF}) conforme mostrado na Figura 7.

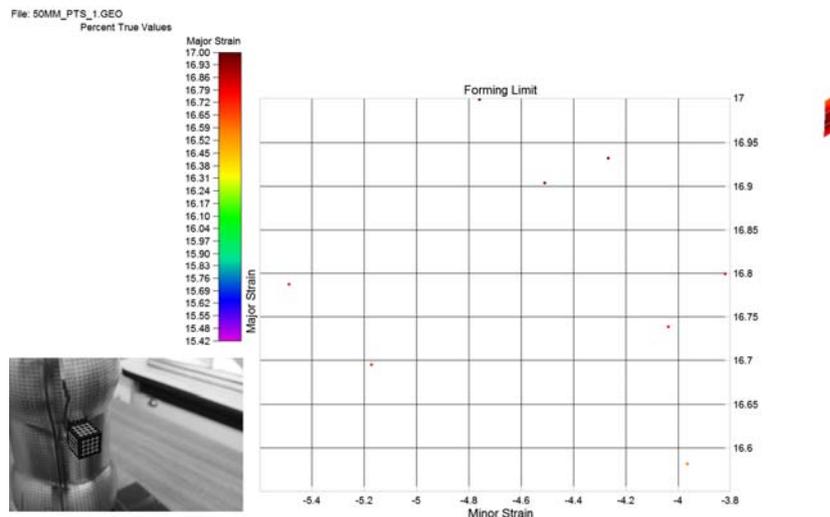


Figura 7 – Deformações referentes à região simétrica a fratura entre pinças ferramental com raio de 50 mm.

Os pontos de máxima deformação simétrica a fratura de cada ferramental foram compilados, obtendo assim a Curva Limite de Expansão Simétrica a Fratura (CLE_{SF}) apresentada na Figura 8.

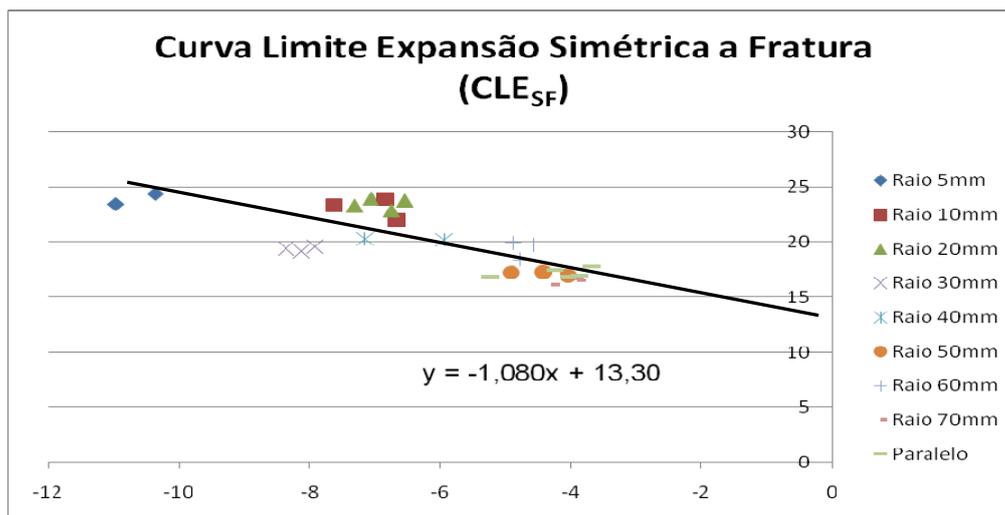


Figura 8 – Curva Limite Expansão Simétrica a Fratura(CLE_{SF}).

4 CONCLUSÕES

O material utilizado neste trabalho apresentou características mecânicas adequadas e uma boa sanidade interna para o estudo proposto, permitindo uma boa repetibilidade dos resultados de expansão. O posicionamento do cordão de solda sobre a pinça foi eficaz proporcionando que a fratura ocorresse fora desta região maximizando a deformação plástica do corpo de prova.

Os valores absolutos de deformação observados por expansão se mostraram bastante elevados e bem superiores aos valores de alongamento total (AL%) observados no ensaio de tração uniaxial, o que comprova que esta propriedade não deve ser empregada para especificar a folha de flandres adequada para embalagens produzidas por processos de expansão, o que justifica a necessidade do desenvolvimento desta nova metodologia.

Os resultados obtidos de deformação para cada ferramental proposto neste trabalho quando compilados foram capazes de produzir uma curva, sendo a mesma denominada de Curva limite Expansão Simétrica a Fratura (CLE_{SF}). Esta curva apresenta características semelhantes às propostas por Keeler⁽⁴⁾ e Goodwin⁽⁵⁾ que representam o lado esquerdo da Curva Limite Conformação (CLC). Diante do exposto podemos afirmar que a metodologia é válida para determinar o limite de expansão de folhas de flandres podendo assim contribuir como “ferramenta” para os pilares de inovação, redução de custo e tecnológico para o mercado brasileiro e mundial de embalagens.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a CSN e a empresa Rimet que realizou a litografia e solda dos corpos de prova. Luciano P. Moreira agradece a FAPERJ pelo apoio financeiro (Grupos Emergentes e Jovens Cientistas do Nosso Estado) e ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 Brasil Pack Trends 2005: Embalagem, Distribuição e Consumo. CETEA, 2000.
- 2 ASTM E 45 – “Standard Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel”.

- 3 ASTM E 112 – “Standard Test Methods for Determining Average Grain Size”.
- 4 KEELER, S.P., Determination of the forming limits in automotive stamping, Sheet Metal Industries, Vol. 461, 1965, p. 683-691.
- 5 GOODWIN, G.M., Application of the strain analysis to sheet metal forming in the press shop, La Metallurgia Italiana, Vol.8, 1968, p. 767-772.