

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Engenharia de Materiais

ENG 02298 - Trabalho de Diplomação

ESTUDO COMPARATIVO DE REVESTIMENTOS PARA
APLICAÇÃO EM DEFLETORES DE CALOR

Martim Wunsche

Cartão N°45730

Prof.^a Célia F. Malfatti

Novembro 2008

ÍNDICE

RESUMO	2
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. Defletor de Calor	5
3.2. Aço revestido com AlSi (Aço Aluminizado)	6
3.3. Aço revestido com AlZn (Aço Galvalume®)	8
3.4. Isolante Térmico (Protec®)	11
3.5. Transferência de Calor	11
3.6. Conformabilidade	14
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	15
4.1. Preparação e Confeção das Amostras	15
4.2. Preparação das amostras para caracterização	16
4.3. Ensaio de Resistência ao Calor	17
4.4. Ensaio de Conformação	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	21
5.1. Resultados e discussões sobre caracterização das amostras.....	21
5.2. Resultados e discussões sobre resistência ao Calor.....	22
5.3. Resultados e discussões sobre conformação.....	24
6. CONCLUSÕES	26
7. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	27
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

RESUMO

A utilização de defletores termo acústicos permite minimizar a transmissão de calor produzido pelo sistema de exaustão aos demais componentes do motor. Sua montagem sobre o coletor de exaustão possibilitou a utilização de componentes fabricados em materiais poliméricos e componentes eletrônicos, nos motores modernos, evitando que os mesmos fossem danificados por altas temperaturas. No presente trabalho será avaliado o desempenho de defletores termoacústicos construídos em três camadas com diferentes revestimentos (duas chapas externas de aço revestido em AlSi ou Zn55Al ambos com isolante térmico Protec® como camada intermediária). Os resultados preliminares obtidos mostraram que os defletores termo acústicos constituídos de três camadas apresentaram semelhante desempenho em transferência de calor e em conformabilidade independente do revestimento utilizado.

1 - INTRODUÇÃO

O TAPS, Thermal Acoustic Protective Shield, comumente chamado de protetor de calor ou defletor de calor, é um componente do sistema de exaustão do veículo, cuja função principal é evitar a propagação do calor gerado pela combustão e conduzido pelo coletor de escapamento para as demais partes do motor ^(1, 2).

Com o avanço tecnológico da indústria automotiva, novos desafios e necessidades surgiram e dentre elas a necessidade da redução do peso dos veículos ocasionando dessa forma a compactação dos espaços disponíveis no compartimento do motor e a utilização de quantidades maiores de materiais poliméricos, juntamente com o aumento do uso da eletrônica.

No entanto, devido ao fato de que esses materiais apresentem o comprometimento de suas propriedades mecânicas quando expostos a elevadas temperaturas, surgiu então a necessidade da criação de defletores de calor em determinadas áreas dos veículos, principalmente naquelas onde uma elevada temperatura de trabalho é requerida, como nos coletores de exaustão e demais componentes do escapamento ^(1, 2, 3, 4).

2 - OBJETIVOS

Este estudo tem por objetivo a análise da viabilidade técnica da utilização de aços revestidos em Zn55Al (Aço Galvalume[®]) em substituição aos aços revestidos em AlSi (Aços aluminizados) atualmente utilizados em defletores de calor de três camadas.

Para estas análises serão avaliadas propriedades térmicas dos defletores de calor conformados em três camadas, nas duas configurações, além da análise comparativa de conformabilidade.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Defletores de Calor

O defletor de calor está acoplado e fixado, geralmente, ao coletor de exaustão, conforme mostra a Figura 1. Sua posição no motor é determinada pelo projeto do sistema de exaustão, podendo estar fixado na parte externa do motor, na frente do veículo, bem como na parte interna, voltado para o assento do passageiro.

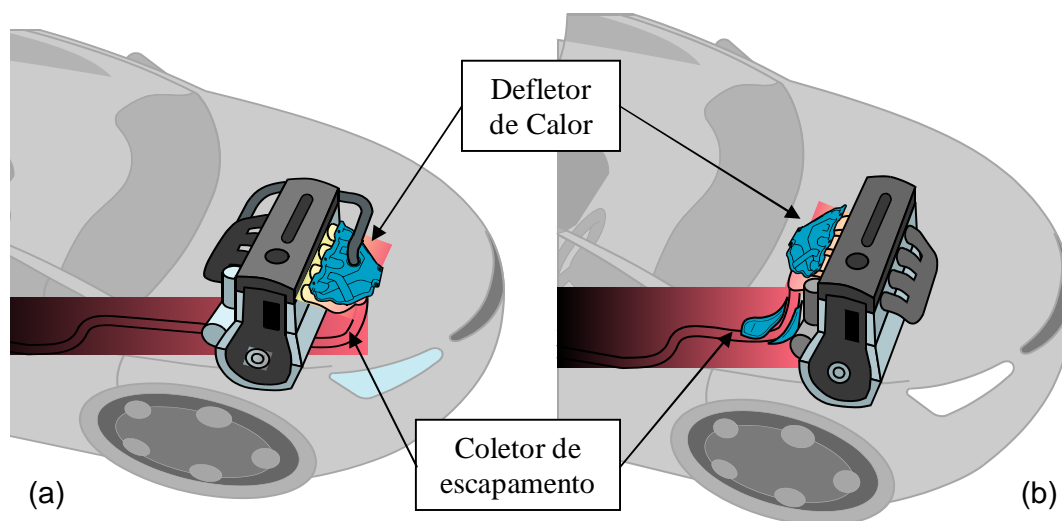


Figura 1: (a) Sistema de exaustão projetado para o lado externo do veículo e (b) Sistema de exaustão projetado para o lado interno do veículo. ^(1 e 2)

Como formas construtivas do produto existem defletores de calor produzidos em uma, duas ou três camadas.

O defletor de uma camada, chamado de chapa única, é fabricado com chapas metálicas de espessuras variadas.

O defletor de duas camadas é normalmente fabricado com duas chapas metálicas planas de iguais espessuras. Também pode ser produzido com duas chapas de espessuras e materiais diferentes (exemplo: aço e alumínio).

O defletor de três camadas tem sua forma construtiva denominada “sanduíche”, conforme mostrado na figura 2. As camadas externas, chamadas de tampa e bandeja, são produzidas em chapas metálicas, enquanto a camada interna é confeccionada com materiais isolantes térmicos.

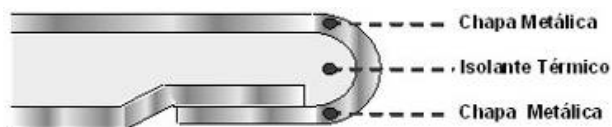


Figura 2: Camadas do defletor de calor, formando o “sanduíche”. ^(1 e 2)

3.2 – Aço revestido com AlSi (Aço aluminizado)

O aço revestido com AlSi, aço aluminizado, são aços cujo revestimento, que contém cerca de 90% de alumínio e 10% de silício, é realizado por imersão contínua em um banho em fusão ⁽⁹⁾, a figura 3 mostra o diagrama de fases da liga AlSi.

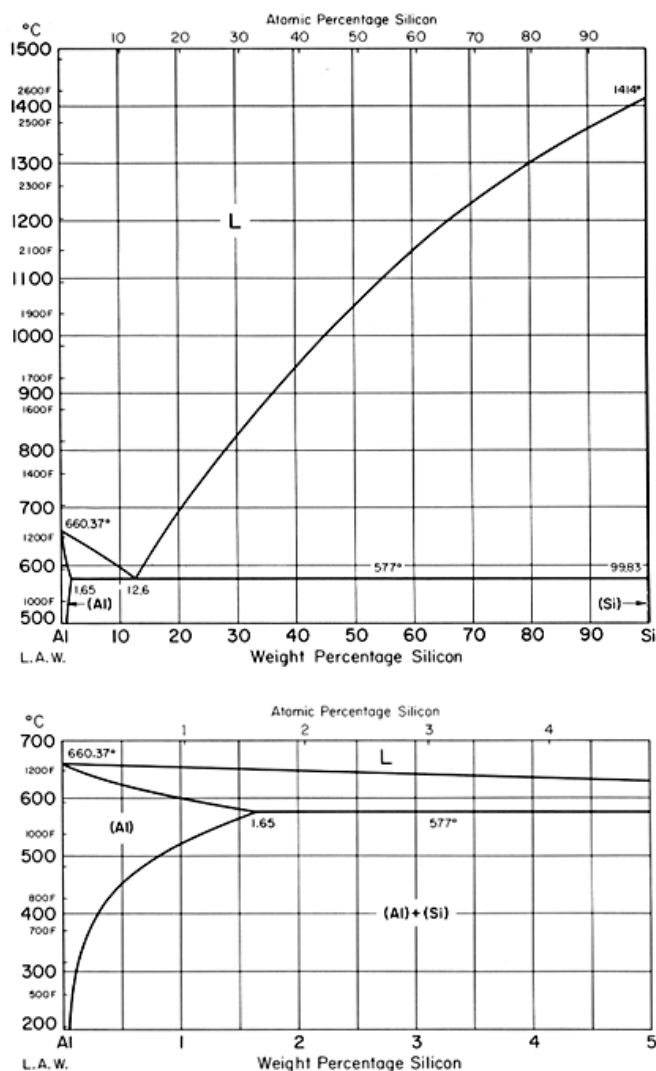


Figura 3: Diagrama de fases liga AlSi. ⁽¹¹⁾

Esses aços podem ser atualmente divididos em quatro categorias, em função de suas características mecânicas e/ou de sua resistência à temperatura. Essas quatro categorias são listadas na Tabela 1.

Tabela 1: Tabela de categorias disponíveis de aços aluminizados.⁽⁹⁾

Categoria		
Alusi	Aços com baixo teor em C	Usado a alta temperatura, até 650°C
Alusi BV	Aços com teores de C e Mn garantidos	Usado a alta temperatura, até 650°C, com conservação aprimorada das CM a alta temperatura
Alusi BHT	Aços acalmados com adição de Ti	Usado a alta temperatura, até 800°C
Alusi Extratherm	Aços com adição de Ti e ligeiramente ligados a outros elementos, como o Cr.	Usado a alta temperatura, até 900°C. Usibore 1500 pré-revestido

O material utilizado neste trabalho é o Alusi que tem como composição química e resistência mecânicas conforme Tabela 2.

Tabela 2: Tabela de composição e propriedades.⁽⁹⁾

COMPOSIÇÃO QUÍMICA	C (Carbono)– 0,08% máximo Mn (Manganês)- 0,50% máximo P (Fósforo) - 0,030% máximo S (Enxofre) - 0,030% máximo
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	270 – 380Mpa (39,000-55,000 psi)
LIMITE DE ESCOAMENTO	140 – 260 MPa
ALONGAMENTO	28% min. em 50 mm
DUREZA	110 Hv máximo

O Alusi combina a resistência mecânica tradicional do aço com boa resistência à oxidação a quente, resistência a temperaturas elevadas e resistência a corrosão.

É um produto amplamente utilizado em peças para automóveis como por exemplo: escapamentos, defletores térmicos, tanques de combustível, cárteres, etc...

O revestimento possui massas e espessuras standard disponíveis como 40, 60, 80, 100, 120, 150, 165, 180 e 200 g/m² dupla face. Neste estudo o Alusi utilizado é o de 0,4 mm de espessura com revestimento de 120 g/m².

3.3 – Aço revestido com Zn55Al (Aço Galvalume®)

O aço revestido com AlZn é composto por uma chapa de aço plana, fabricada em distintas espessuras (0,4 mm, 0.6 mm e 0,97 mm), revestida com uma liga de alumínio e zinco (55% Al - Zn), produzida por imersão a quente, a figura 4 mostra o diagrama de fases da liga ZnAl.⁽⁷⁾

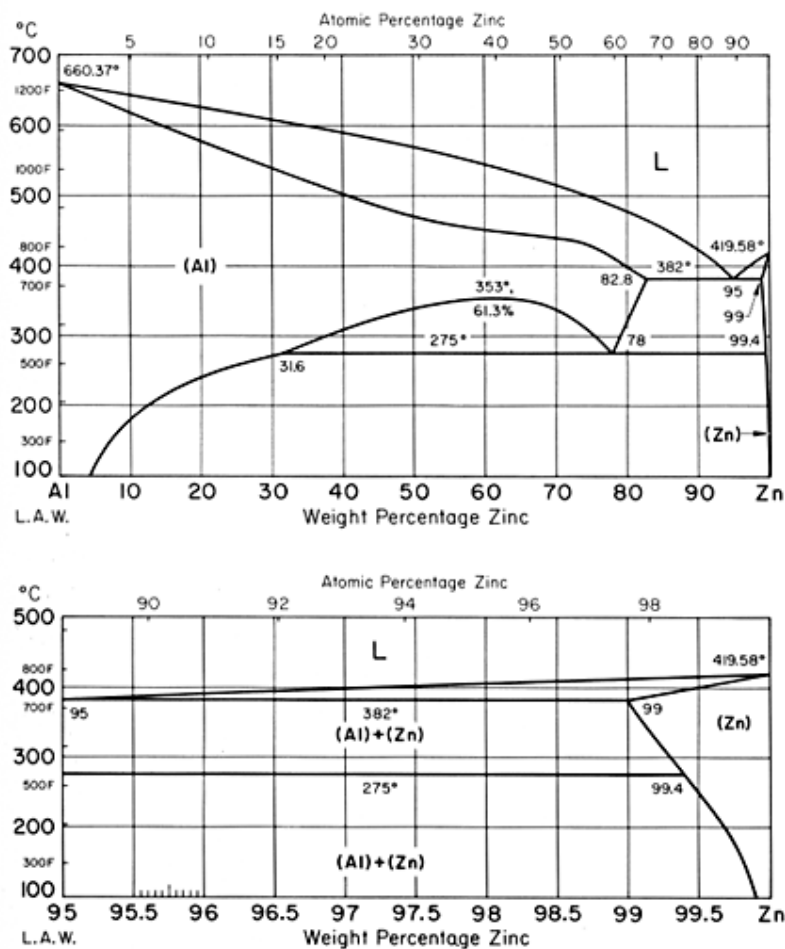


Figura 4: Diagrama de fases liga ZnAl.⁽¹¹⁾

A composição química deste material segue a norma ASTM A 792 grau CS-A e seu limite de escoamento varia entre 205 e 410 MPa. ⁽⁷⁾

O revestimento Zn55Al é produzido por imersão à quente em banho de Zn e Al fundidos, à temperatura de 600°C. A este banho é adicionado 1,6% de silício (Si) para controlar o crescimento da liga Zn-Al e evitar o ataque à cuba de fusão por formação da liga Al-Fe-Zn. Este revestimento apresenta uma microestrutura que resulta de uma fase rica em Al solidificado primeiro, formando uma rede de dendritas. A região interdendrítica é preenchida por uma fase rica em Zn e uma fase intermetálica ternária Al-Fe-Zn na interface revestimento/substrato ⁽⁷⁾.

Segundo Marder ⁽⁸⁾, a figura 5 mostra uma superfície com aspecto de um mosaico brilhante, que consiste de grãos de Al, semelhantes à superfície do revestimento Zn puro. Figura 6 mostra estes grãos formados por dendritos ramificados de Al, com a presença de Zn nas regiões interdendríticas. A figura 7 mostra a morfologia da secção transversal que apresenta três características bem definidas onde se pode observar os dendritas de alumínio (A), as regiões ricas em zinco (B) e uma pequena dispersão de partículas de silício (C). Esse autor reporta ainda que as dendritas de Al contêm aproximadamente 18% de Zn. A figura 8 apresenta um diagrama esquemático da secção transversal enfatizando as três regiões A, B e C ^(7, 8).

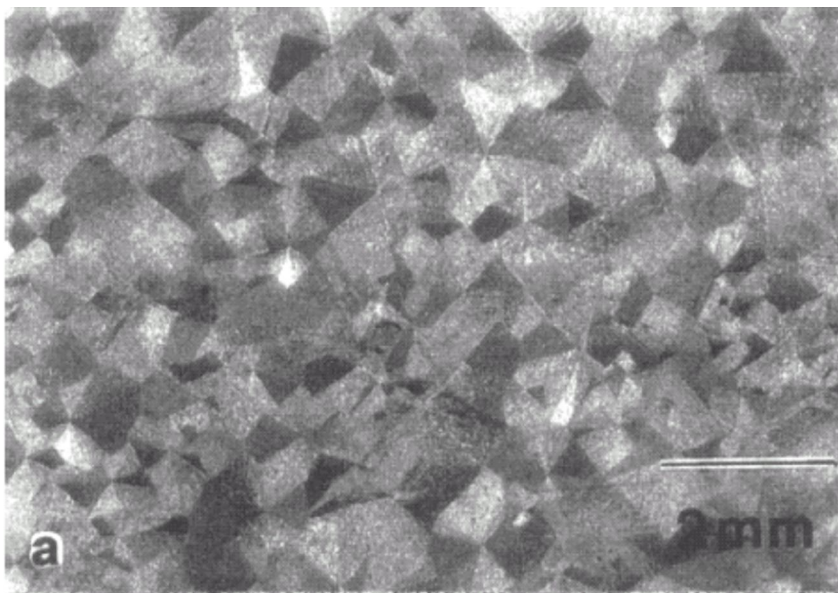


Figura 5: Microestrutura do revestimento galvalume onde se observa o aspecto de mosaico brilhante. ^(7, 8)

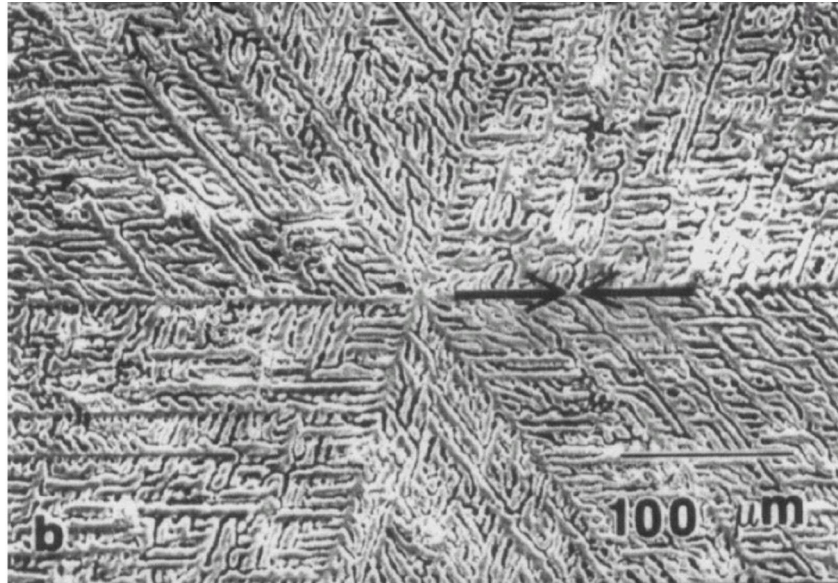


Figura 6: Microestrutura do revestimento galvalume onde se observa as dendritas ramificadas de Al e a região interdendrítica.^(7, 8)

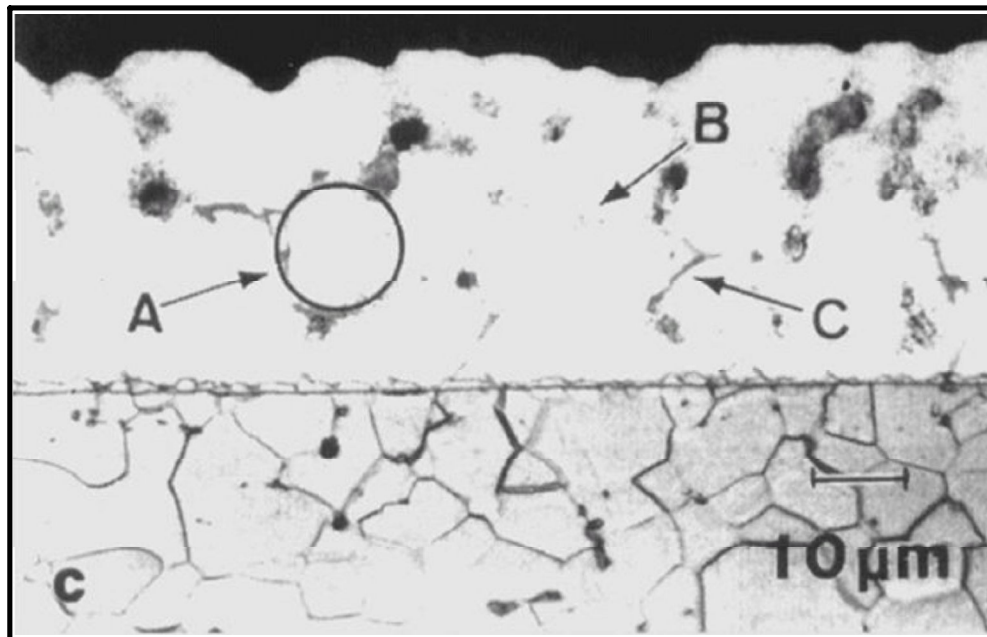


Figura 7: Microestrutura da secção transversal do revestimento galvalume das dendritas de alumínio (A), as regiões ricas em zinco (B) e uma pequena dispersão de partículas de silício (C).^(7, 8)

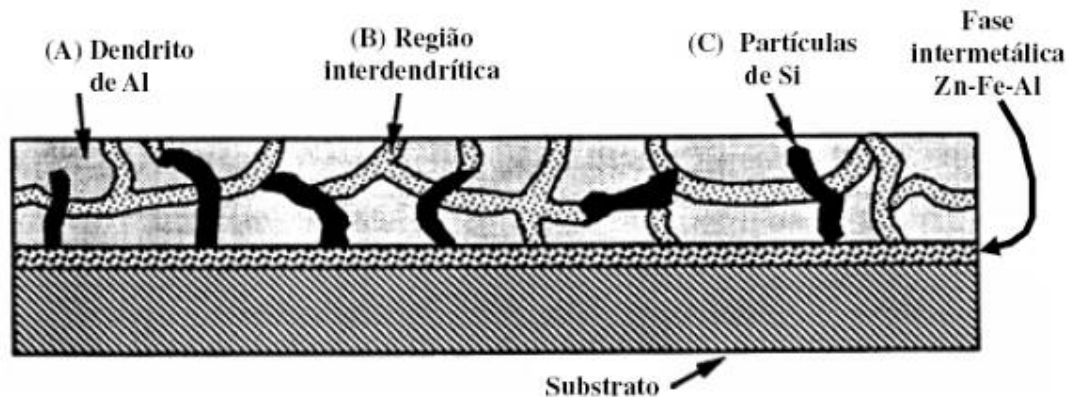


Figura 8: Representação esquemática da seção transversal enfatizando as três regiões A,B e C. ^(7,8)

O revestimento de liga Zn55Al, é utilizado principalmente como revestimento para aço baixo carbono. Esta liga combina os efeitos individuais de resistência à corrosão atmosférica e durabilidade do alumínio com a proteção galvânica do zinco em um único revestimento ⁽⁷⁾.

3.4 – Isolante térmico Protec[®]

O Protec[®] foi utilizado como isolante térmico interno nos protetores de calor. Protec[®] é um mineral da família das argilas micáceas (um silicato hidratado de magnésio, alumínio, cálcio e ferro), patenteado pela Dana para tal aplicação. Sua composição química apresenta basicamente: 40 a 45% de óxido de silício (SiO_2) e 20 a 25% de óxido de magnésio (MgO). Outros óxidos, em pequenas quantidades percentuais, estão presentes em sua composição. Sua condutividade térmica média em função da temperatura é de 0,242 W/m.K. ^(1,2,3,4)

3.5 – Transferência de Calor

A transferência de calor pode ser definida como a energia transferida entre um sistema e seu ambiente, devido uma diferença de temperatura entre eles. Sempre que

existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios diferentes, haverá necessariamente a transferência de calor ⁽⁵⁾.

Como mecanismos físicos de transferência de calor têm-se três diferentes modos: condução, convecção e radiação (Figura 9).

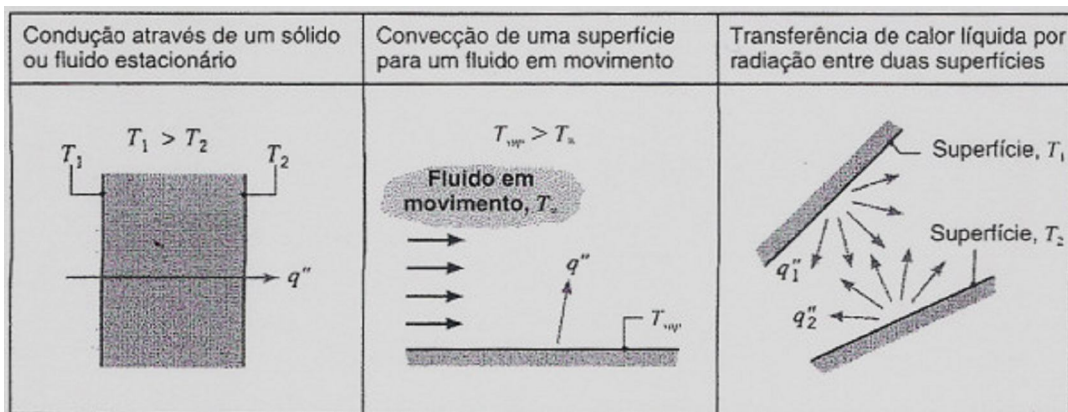


Figura 9: Modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação ⁽⁵⁾.

A condução pode ser vista como a transferência de energia de partículas mais energéticas para partículas de menor energia, em um meio devido às interações que existem entre elas. Assim, na presença de um gradiente de temperatura, a transferência de energia por condução ocorre, portanto, no sentido da diminuição de temperatura.

Em materiais sólidos o calor é transportado tanto através das ondas de vibração do retículo (fônons), como através dos elétrons livres. Uma condutividade térmica está associada com cada um desses mecanismos, e a condutividade total é a soma dessas duas contribuições (equação 1) ⁽⁶⁾.

$$k = k_r + k_e \quad \text{Equação 1}$$

onde k_r e k_e representam as condutividades térmicas devidas à vibração do retículo e aos elétrons, respectivamente; em geral, uma forma ou a outra é predominante. A energia que está associada aos fônons ou às ondas reticulares é transportada na direção do seu movimento. A contribuição de k_r , resulta de um movimento líquido ou global dos fônons desde as regiões de alta temperatura para as regiões de baixa temperatura de um corpo, através das quais existe um gradiente de temperatura ⁽⁶⁾.

Os elétrons livres ou condutores participam na condução térmica eletrônica. Aos elétrons livres em uma região quente da amostra é concedido um ganho em energia cinética. Eles então migram para as áreas mais frias, onde uma parte dessa energia cinética é transferida para os próprios átomos (na forma de energia vibracional), como consequência de colisões com os fônons ou outras imperfeições no cristal. A contribuição relativa de k_e para a condutividade térmica total eleva com o aumento das concentrações de elétrons livres, uma vez que mais elétrons estão disponíveis para participar nesse processo de transferência de calor ⁽⁶⁾.

O mecanismo eletrônico de transporte de calor é muito mais eficiente do que a contribuição dos fônons em metais de alta pureza, pois os elétrons não são tão facilmente dispersos como são os fônons, além de possuírem maiores velocidades. Além disso, os metais são condutores de calor extremamente bons, pois existem números relativamente grandes de elétrons livres que participam na condução térmica ⁽⁶⁾.

Os materiais não-metálicos e os materiais cerâmicos são isolantes térmicos, uma vez que eles não dispõem de elétrons livres. Dessa forma, os fônons são os principais responsáveis pela condutividade térmica: o valor de k_e é muito menor do que o valor de k_r . Novamente, os fônons não são tão efetivos como os elétrons livres no transporte da energia calorífica, o que é um resultado do espalhamento muito eficiente dos fônons pelas imperfeições do retículo ⁽⁶⁾.

No presente trabalho avaliou-se a condutividade térmica de diferentes formas construtivas de defletores termo acústicos considerando-se o modo de condução, que é o principal modo de transmissão de calor atuante nos defletores. O fenômeno de convecção não foi considerado.

3.6 – Conformabilidade

Conformabilidade é a capacidade que a chapa metálica tem de adquirir a forma de uma matriz, pelo processo de estampagem sem se romper ou apresentar qualquer outro tipo de defeito de superfície ou de forma.

A avaliação da conformabilidade de uma chapa metálica depende de muitos testes, tais como: ensaios simulativos (tipo Erichsen, Olsen, Fukui, etc.), ensaios de tração (obtendo-se o limite de escoamento e de resistência, a razão elástica, o alongamento total até a fratura, o coeficiente de encruamento, os coeficientes de anisotropia normal e planar), ensaios de dureza, medida da rugosidade do material, metalografia, etc.

Ainda assim, a análise é incompleta, pois nas operações reais de estampagem ocorre uma combinação complexa de tipos de conformação. A conformabilidade torna-se função não somente das propriedades do material, mas também das condições de deformação e dos estados de tensão de deformação presentes ⁽¹⁰⁾.

4 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 – Preparação e Confeção das Amostras

Para a preparação das amostras deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Aço revestido com AlSi (Aluminizado) com espessura de 0,4 mm;
- Aço revestido com Zn55Al (Galvalume[®]) com espessura 0,43 mm;
- Isolante térmico Protec[®] com espessura 0,9 mm;

Para a confecção das amostras, inicialmente foram produzidas, em ferramentais de corte em lâmina de aço, as camadas interna (tampa) e externa (bandeja) dos blanks de teste (Figura 10).

Após o corte das camadas, foi conformada, com um ferramental de madeira, a aba lateral da camada externa (bandeja) (Figura 11).

O isolante térmico Protec[®] foi recortado na forma circular (diâmetro de 150 cm) e posicionado no interior da camada externa (bandeja) de cada aço analisado.

Por fim, os *blanks* foram montados e fechados manualmente, com posterior normalização (planificação das amostras produzidas).

As amostras foram elaborados com três camadas (duas chapas externas de aço e uma camada intermediária de isolante térmico) (Figura 12).



Figura 10: Ferramental de corte das amostras de tampa e bandeja



Figura 11: Ferramental para fazer as dobras das amostras de bandeja.

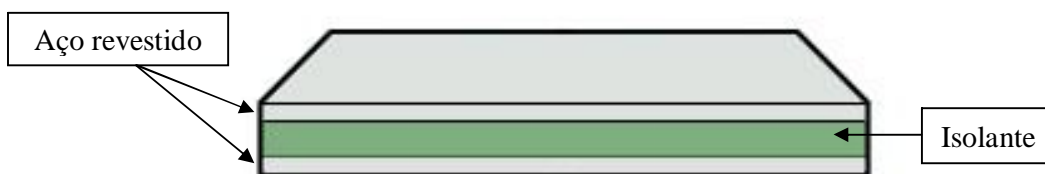


Figura 12: Esquema de montagem da amostra produzida para o teste de resistência ao calor.

4.2 – Caracterização das amostras

A caracterização das amostras foi feita por Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com uso do Microscópio eletrônico de varredura Jeol 5800 acoplado a equipamento de análise dispersiva de raios-X (EDS) – Noran.

Para que fosse possível a caracterização, iniciei preparando corpos de prova. Os corpos de prova foram confeccionados a partir de pequenos pedaços de aço revestidos com ambos os materiais. Os corpos pedaços foram colados perpendicularmente à matriz de embutimento, após isto foi adicionado baquelite a mesma e iniciado o processo de embutimento que é composto por pressão de aproximadamente 120 bar, tempo de 15 minutos e temperatura de 80°C e logo após referimento com água corrente por 5 minutos.

Após o término do resfriamento alivia-se a pressão e é retirado o corpo de prova embutido.

Logo após, as amostras embutidas (figura 13) foram lixadas sucessivamente em lixas com granulometrias de 100, 200, 400 e 600 e polidas em feltro com alumina.



Figura 13: Corpos de prova embutidos para caracterização das camadas

4.3 – Ensaio de Resistência ao Calor

O ensaio de resistência ao calor consistiu na avaliação e análise dos defletores de calor, a partir da aplicação de calor, pela transmissão constante de uma fonte, em um defletor de calor posicionado a 25 milímetros desta fonte, apoiado em um anel circular de material cerâmico refratário. Externamente, comprimindo o defletor ao anel cerâmico, posicionou-se um tubo cilíndrico de aço (Figura 14).

Esta configuração de ensaio está baseada na norma FIAT 50570⁽¹³⁾, sendo adaptada e modificada para atender os requisitos específicos deste trabalho.

Para análise das temperaturas, quatro termopares foram utilizados no ensaio. O primeiro termopar foi fixado diretamente na fonte de calor (chapa aquecedora), para controle da temperatura e não foi considerado na análise dos resultados. O segundo termopar foi posicionado entre a fonte e o defletor (Termopar 1). O terceiro e o quarto termopares foram fixados no cilindro metálico, sendo o terceiro (Termopar 2) fixado sobre o defletor, e o quarto (Termopar 3) fixado a 30 mm da amostra, para analisar e avaliar a temperatura nesta região.

Iniciou-se a aquisição dos dados 10 minutos após a chapa aquecedora atingir a temperatura de 600 °C, com livre aumento da temperatura até o final do ensaio em 60

minutos. Os dados de temperatura foram adquiridos pelo Software *Field Logger*, com aquisição a cada 10 segundos.

Os dispositivos utilizados neste ensaio foram:

- Chapa aquecedora Sanchis;
- Termopares Ecil, Tipo K;
- Cilindro metálico em aço.

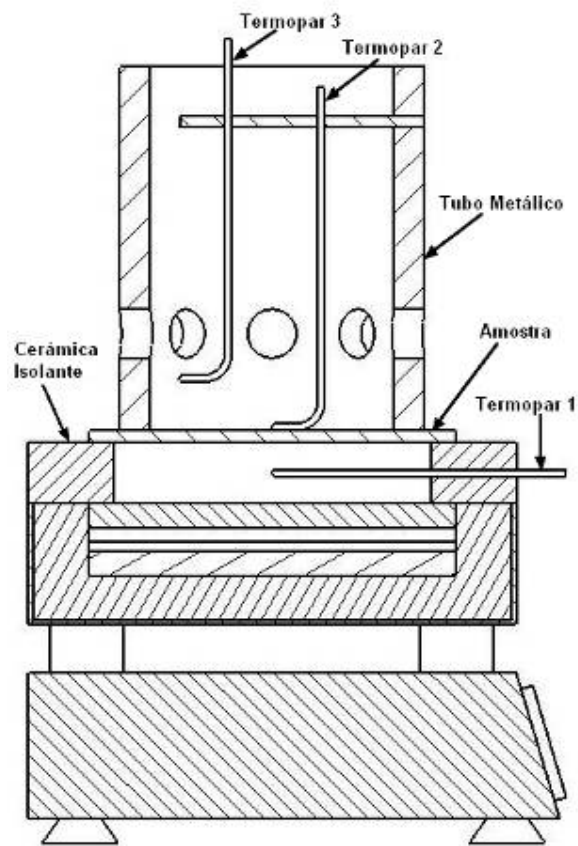


Figura 14: Representação esquemática da estrutura montada para o ensaio de resistência ao calor.

4.3 – Ensaio Conformação

O ensaio consistiu na avaliação da conformação do conjunto pré-formado de aço com revestimento de Zn55Al com o isolante térmico (Figura 15) . Para esta conformação foi utilizado o molde de um defletor de calor aplicado no veículo Renault Logan montado em prensa hidráulica de 200 ton de força de fechamento, sendo todos os parâmetros de operação do equipamento exatamente os mesmos de quando utilizamos conjuntos utilizando aço revestido com AlSi (Figura 16).



Figura 15: Conjunto de aço com revestimento de Zn55Al e isolante térmico.



Figura 16: Conjunto de aço com revestimento de AlSi e isolante térmico.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

5.1 – Resultados e discussões sobre caracterização das amostras

A partir das Figuras 17 e 18 é possível observar que a amostra de aço revestido com AlSi (figura 17) apresenta uma espessura de revestimento menor, conforme apresentado na tabela 3, do que a espessura da amostra de aço revestido com Zn55Al (figura 18).

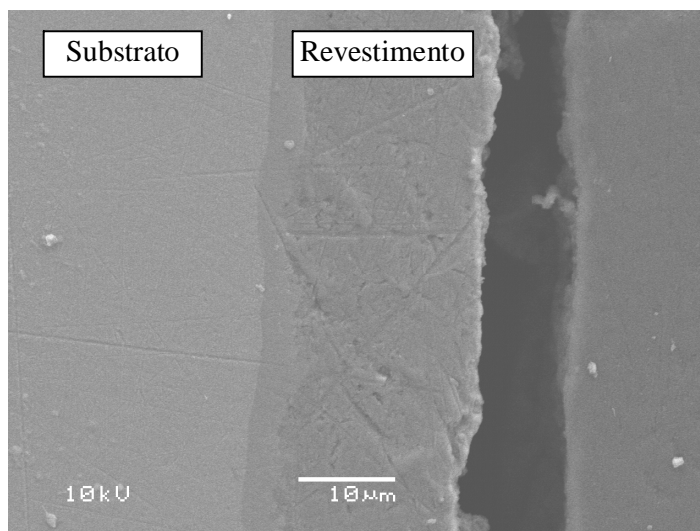


Figura 17: Amostras de aço revestido com AlSi.

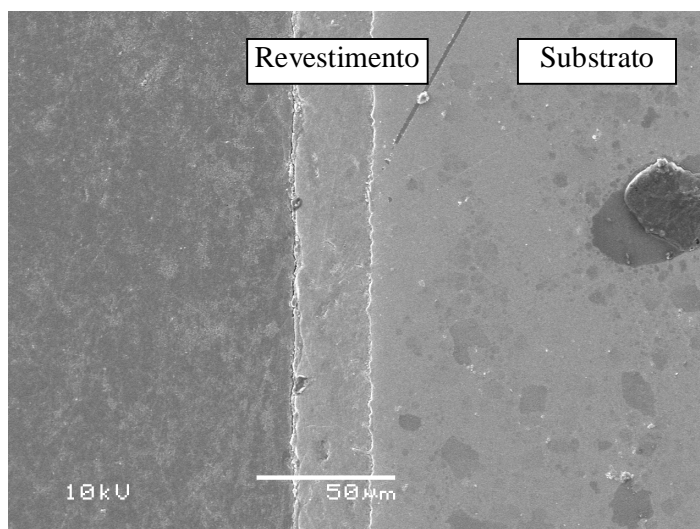


Figura 18: Amostras de aço revestido com Zn55Al.

Tabela 3: Tabela de medidas das espessuras dos revestimentos.

Revestimento	Espessura Média (µm)	Desvio (µm)	Espessura Mínima (µm)	Espessura Máxima (µm)
AlSi	23,08	0,72	22,06	24,34
Zn55Al	29,17	0,98	27,78	30,56

5.2 – Resultados e discussões sobre resistência ao Calor

As Tabelas 4 e 5 apresentam os valores médios de temperatura obtidos para as diferentes formas construtivas e os fatores de eficiência. E o Gráfico 1 evidencia o comportamento dos defletores de calor testados.

O fator de eficiência, foi calculado a partir da equação 2.

$$F_e = \frac{\text{Temperatura Termopar 1 (interno)}}{\text{Temperatura Termopar 2 (externo)}} \quad \text{Equação 2}$$

A determinação desse fator tem por objetivo demonstrar a partir do ensaio de resistência ao calor, a forma construtiva mais eficiente para minimizar transferência do calor. Dessa forma, o menor fator de eficiência é 1, representando a passagem e transmissão total do calor, com temperatura externa muito próxima a temperatura interna, e o maior fator de eficiência é 20, representando a menor passagem e transmissão do calor possível, com a temperatura externa medida próxima a temperatura ambiente (25°C).

Tabela 4 : Médias das medições de temperatura (°C) dos Termopares 1 e 2 e os fatores de eficiência, realizados no Ensaio de Resistência ao Calor.

	Termopar 1	Termopar 2	Fator de Eficiência
Aço revestido com AlSi + Isolante Protec®	470,02 +/- 8,65	147,92 +/- 6,50	3,18 +/- 0,10
Aço revestido com AlZn + Isolante Protec®	466,65 +/- 20,24	135,65 +/- 12,88	3,45 +/- 0,17

Como se pode observar a partir da Tabelas 4 os fatores de eficiência foram similares para os dois sistemas estudados. A partir da Tabela 5 pode-se observar que a temperatura externa, a 30 mm do defletor de calor (medida pelo Termopar 3), é muito similar para as duas configurações testadas, desenvolvendo temperaturas próximas a 60 °C, o que indica o mesmo comportamento para as duas configurações testadas.

Tabela 5: Médias das medições de temperatura (°C) do Termopar 3 realizadas no Ensaio de Resistência ao Calor.

	Termopar 3	
Aço revestido com AlSi + Isolante Protec®	55,72	+/- 6,18
Aço revestido com AlZn + Isolante Protec®	59,48	+/- 2,36

A figura 19 mostra a evolução da temperatura de acordo com a posição dos termopares representados na figura 14.

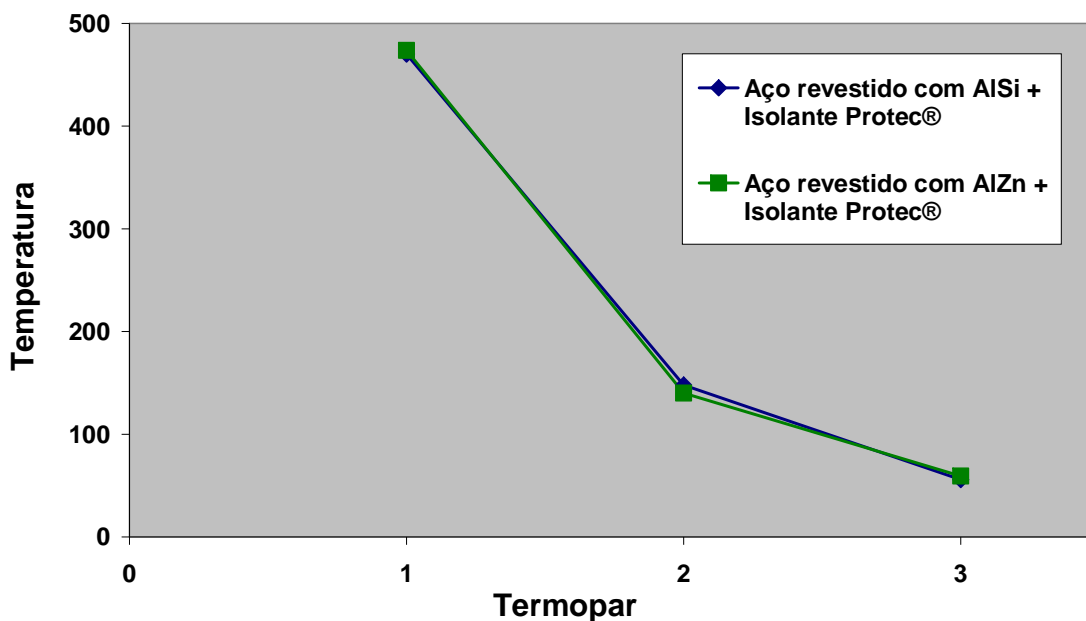


Figura 19 : Análise comparativa com os materiais testados no ensaio de resistência ao calor.

5.3 – Resultados e discussões sobre conformação

A Figura 20 mostra a peça conformada com o aço revestido com Zn55Al utilizando todos os moldes e parâmetros de processo da peça de AlSi, a peça não apresentou nenhuma diferença significativa quando comparada com a de aço revestido com AlSi, Figura 21.



Figura 20: Peça conformada com aço revestido com Zn55Al.



Figura 21: Peça conformada com aço revestido com AlSi

Como podemos ver nas figuras 20 e 21 as peças em aço revestido com AlSi e Zn55Al apresentaram mesma conformabilidade quando conformadas em molde e parâmetros idênticos, sendo assim o revestimento do aço nem a pequena diferença de espessura entre eles (AlSi 0,4/0,9/0,4 e Zn55Al 0,43/0,9/0,43) não impactaram na fabricação de defletores de calor.

6 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas condições utilizadas neste trabalho mostraram que para os sistemas estudados:

- Os revestimentos AlSi e Zn55Al não apresentaram influência importante na resistência à transferência de calor.
- Não se observou nenhuma diferença significativa no aspecto superficial, para o aço revestido com Zn55Al ou para o aço revestido com AlSi, após conformação por compressão em prensa hidráulica.

7 – SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Para futuros trabalhos fica a sugestão de análise de outros materiais em substituição a composição usual de defletores de calor, como por exemplo:

- Chapas de alumínio em substituição as chapas de aço revestidas.
- Mantas isolantes térmicas em substituição ao Protec[®].
- Chapas corrugadas em substituição a chapas lisas.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pereira, D.C; Borges, T.V; Ribeiro, F.; Campos, R. **O desenvolvimento de defletores térmico-acusticos (TAPS) utilizando a análise de elementos finitos**, In: Congresso SAE Brasil 2005, São Paulo, 2005
2. Popielas, F., Lu, C., Krishna, M., Chen, C., Oxenknecht, E., *NVH and Modal Analysis of Thermal-Acoustical Protec@tive Shields (TAPS)*, In: SAE 2004.
3. Popielas, F.; Ramkumar R.; Digregorio, A.; Chen, C.; Rebien, H.; Boogemans, M. *CAE Approach for Thermal Acoustical Protec@tive Shields - Part 2*, In: SAE 2004.
4. Popielas, F.; Lu, C.; Krishna, M.; Chen, C.; Oxenknecht, E. *Forming Analysis of Thermal-Acoustical Protec@tive Shields*, In: SAE 2004.
5. Incropera, F.P.; DeWitt D.P. **Fundamentos de transferência de calor e massa**, 4ª Edição, Rio de Janeiro, 1998.
6. Callister Jr, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**, 4ª Edição, São Paulo, 2002
7. Silva, P. S. G.; **Ligas de Zinco de interesse tecnológico: estudo do revestimento anticorrosivo ZnAl e da eletrodeposição do semicondutor ZnTe**, Fortaleza, Ceara, 2006,
8. Marder, A.R.; *The Metallurgy of Zinc-Coated Steel, Progress in Material Science*, Bethlehem (USA), 45, 2000,
9. Arcelor Auto; **Catálogo de produtos da linha automotiva**, São Paulo, 2003,
10. Schaeffer, L.; **Conformação de Chapas Metálicas**, 1ª Edição, Porto Alegre, 2004
11. Infomet; **Diagrama de Fases**, Site www.infomet.com.br, Brasil, 2008.

12. CSN; **Apostila de Treinamento CSN Galvalume**, Araucária, Paraná, 2007.

13. Fiat Auto; ***Material Standard 50570 – Heat Resistance and Thermal Insulation Properties of Heat Shields***, FIAT Auto *normazione*, Italia, 1993.