

MÉTODO AUTOMÁTICO DE PLANIFICAÇÃO DE CHAPAS ADAPTADO AO PROCESSO DE ENFORMAÇÃO TÉRMICA

R. Lourenço e J. M. Gordo¹

Centro de Engenharia e Tecnologia Naval, Instituto Superior Técnico,
Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal

¹jose.gordo@ist.utl.pt

Resumo

Apresenta-se um processo e sua implementação que permite automatizar o método da geodésica para a planificação de chapas do casco com dupla curvatura. A automatização do processo de planificação de chapas do casco tem em consideração os processos de fabrico, nomeadamente a enformação pela aplicação de linhas de calor a toda a espessura, permitindo aumentar o grau de automatização na interface projecto produção num estaleiro naval. A inovação da introdução de medidas correctivas ao método da geodésica que adequem a chapa planificada a todo o processo de enformação, tem como consequência imediata a possibilidade de cortar a chapa sem material a mais. Assim, as chapas enformadas deste modo não requerem medidas correctivas de acabamento pelo que o custo total de fabrico é substancialmente reduzido assim como o tempo de execução. O método quantifica ainda o grau de plastificação ao longo das bainhas. Esta informação é necessária para a especificação da quantidade de calor e sua distribuição ao longo da chapa a aplicar no processo de fabrico por enformação térmica.

1 Chapas de Dupla Curvatura

Chapas com curvaturas nas duas direcções principais, apresentam um formato que pode ser em concha (Fig.1-a) ou sem sela (Fig.1-b). As chapas de dupla curvatura estão situadas principalmente na zona de vante e ré do casco do navio.

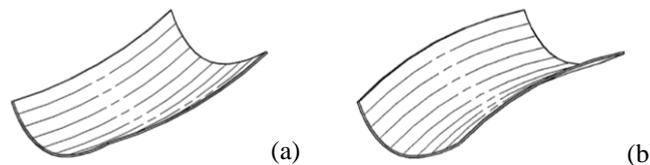


Figura 1. Chapa com formato em concha (a) ; Chapa com formato em sela (b)

2 Processos de enformação

2.1 Processos mecânicos

As chapas de dupla curvatura são enformadas em primeiro lugar pela máquina existente em estaleiro naval, a calandra (Fig.2), sendo obtida a primeira curvatura da chapa.

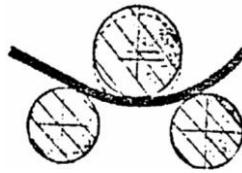


Figura 2. Calandra.

2.2 Processos térmicos

A segunda curvatura da chapa é obtida na aplicação de calores a toda a espessura da chapa e em zonas específicas, estes calores podem ser aplicados em linha ou em V. As ilustrações das Figuras 3-a e 3-b apresentam maneiras de aplicar calores em linha e em V para obter um formato de chapa em concha. No caso de se pretender uma chapa em sela, a mesma técnica térmica é aplicada conforme ilustrado nas Figuras 4-a e 4-b.

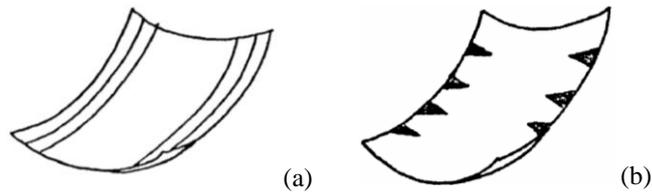


Figura 3. Aplicação de calores em linha, chapa em concha (a) ; Aplicação de calores em V, chapa em concha (b)

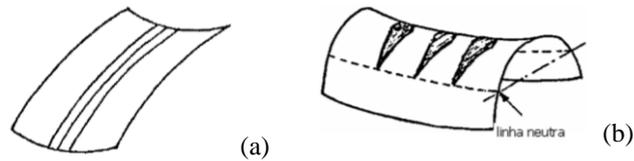


Figura 4. Aplicação de calores em linha, chapa em sela (a) ; Aplicação de calores em V, chapa em sela (b)

Este foi o processo considerado no desenvolvimento deste trabalho para a enformação de placas de dupla curvatura, aplicando desta maneira processos mecânicos como processos térmicos.

3 Distribuição de Chapas

3.1 Tradicional

Nas chapas de um casco de navio, estas eram tradicionalmente distribuídas de maneira a acompanhar da melhor maneira possível a forma do casco (Fig.5-a), desta forma existia duas grandes vantagens em lidar com as chapas de dupla curvatura, e que são as seguintes: em primeiro, os resultados obtidos na sua planificação eram mais fiáveis, e em segundo, o processo de enformação era mais simples.

3.2 Moderna

Nos dias de hoje, com a necessidade de construir navios cada vez maiores, a maneira tradicional caiu em desuso sendo utilizada em apenas navios de pequeno porte. Nos navios de grande dimensão ao serem construídos usualmente por blocos, provocou uma mudança na distribuição de chapas no casco do navio (Fig.5-b) facilitando as tarefas de construção ao serem colocadas as bainhas de chapa em planos horizontais, quebrando as duas vantagens existentes na distribuição tradicional, requerendo novas maneiras de abortar a planificação da chapa de dupla curvatura como a sua enformação.

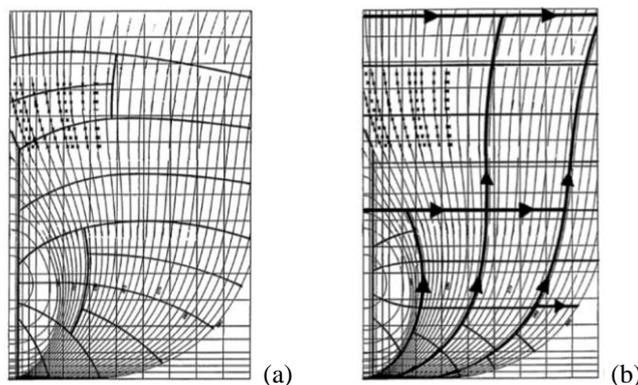


Figura 5. Distribuição de chapas: (a) Tradicional (b) Moderna

4 Método da Geodésica

Neste trabalho, foi adoptado o método da geodésica para obter as planificações das chapas de dupla curvatura. Como requisitos, este método necessita de informação proveniente do plano vertical e do arranjo geral do navio. Em termos gerais, o método consiste na traçagem de uma geodésica na superfície da chapa, e que por sua vez vai ser utilizada como linha de referência no momento da planificação da chapa.

Os principais passos do método da geodésica são os seguintes:

- Através do plano vertical do navio, traçar a projecção da geodésica na superfície da chapa. Por norma, escolhe-se a geodésica que é perpendicular à linha de baliza central da chapa.
- Com o auxílio do valor de espaçamentos entre balizas proveniente no arranjo geral do navio, é traçada a geodésica na sua verdadeira grandeza (seu desenvolvimento). Os desenvolvimentos das bainhas da chapa também têm de ser traçados.
- Por último a chapa é planificada, ficando a geodésica como referência no processo. A perpendicularidade entre a geodésica e a linha da baliza central é mantida.

5 Aplicação do Método da Geodésica

Foi utilizado o MATLAB como software informático para criar um algoritmo de aplicação para o método da geodésica, desta maneira, os resultados finais de planificação das chapas são obtidas de uma maneira automática. Na preparação dos dados de entrada para o programa, são necessários os desenhos do plano vertical (e sua distribuição de chapas) e o arranjo geral do navio, com esta informação é construída uma tabela em Excel tendo os seguintes conteúdos:

- Coordenadas de pontos-chave da chapa no plano vertical (Fig.6).
- O valor de espaçamento entre balizas.
- As coordenadas no eixo longitudinal de cada linha de baliza pertencentes da chapa.
- Um valor código de 0 caso os espaçamentos entre balizas da chapa sejam iguais, e um valor código de 1 caso existe uma variação nos valores dos espaçamentos entre balizas da chapa.
- Um valor código de 0 caso a placa esteja a vante no casco, e um valor código de 1 caso a placa esteja a ré no casco do navio.

Uma vez concluída a rotina do programa, este fornece dados de saída e que são os seguintes:

- Modelo a três dimensões da chapa (Fig.7).
- Plano vertical da chapa com a traçagem da projecção da geodésica (Fig.8-a).

- Desenho com os desenvolvimentos da geodésica e das baínhas da chapa (Fig.8-b).
- Desenho com a chapa na sua forma planificada (Fig.8-c).
- Tabela em Excel com as coordenadas dos pontos-chave planificados da chapa.

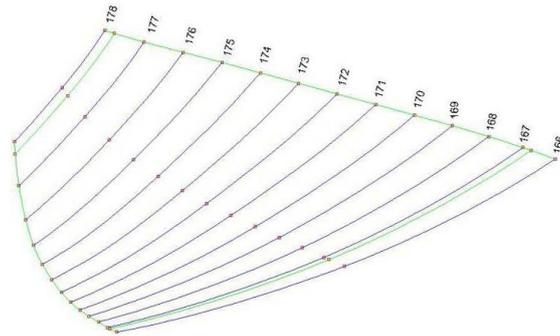


Figura 6. Plano vertical, pontos-chave utilizados para os dados de entrada para uma chapa exemplo.

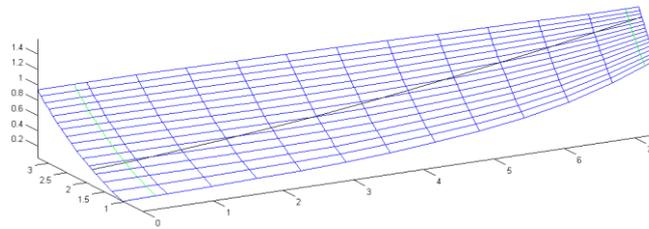


Figura 7. Modelo a três dimensões da chapa exemplo.

	x [m]	y [m]		x [m]	y [m]		x [m]	y [m]
B1	0,018	0,001	M1	0,017	0	S1	0,002	0,001
B2	0,026	0,000	M2	0,015	0	S2	0,005	0,002
B3	0,006	0,000	M3	0,011	0	S3	0,004	0,002
B4	0,004	0,000	M4	0,008	0	S4	0,003	0,001
B5	0,001	0,002	M5	0,006	0	S5	0,003	0,001
B6	0,001	0,002	M6	0,002	0	S6	0,000	0,000
B7	0,000	0,001	M7	0,000	0	S7	0,000	0,000
B8	0,000	0,001	M8	0,000	0	S8	0,000	0,000
B9	0,003	0,001	M9	0,000	0	S9	0,001	0,003
B10	0,000	0,000	M10	0,000	0	S10	0,001	0,004
B11	0,002	0,001	M11	0,000	0	S11	0,000	0,006
B12	0,005	0,001	M12	0,001	0	S12	0,003	0,003
B13	0,001	0,002	M13	0,005	0	S13	0,004	0,002

Tabela 1. Erros absolutos obtidos para a mesma chapa em MATLAB e CAD.

As figuras dispostas neste capítulo são provenientes do próprio programa criado, fazendo assim parte da interface do MATLAB. Como comparação, foram realizados os mesmos passos mas desta vez num sistema de CAD e para a mesma chapa

modelo até chegar aos resultados da planificação. Os erros absolutos obtidos foram bastante satisfatórios (Tab.1) na medida de não divergem abruptamente com os valores obtidos em MATLAB.

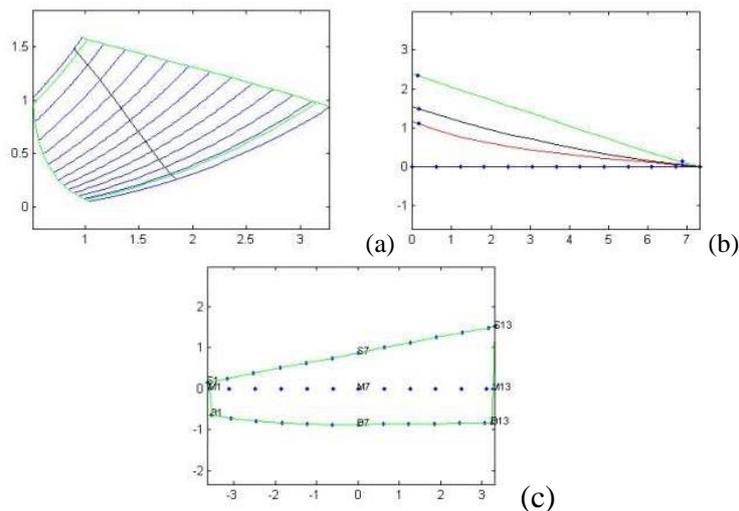


Figura 8. Plano vertical de uma chapa exemplo com a traçagem da projecção da geodésica (a) ; Desenvolvimentos da geodésica e das bainhas da chapa exemplo (b) ; Chapa exemplo na sua forma planificada (c).

6 Medidas Correctivas no Método da Geodésica

Nas chapas de dupla curvatura, a planificação obtida pelo método da geodésica é insuficiente na medida que não tem em consideração os processos de fabrico, nomeadamente, as deformações plásticas (encurtamentos no material) que vão ocorrer na aplicação de calores nas zonas pré-definidas da chapa. Desta maneira para as chapas de dupla curvatura, foi criado um método complementar (método da pseudo planificação por plastificação) que é activado no programa depois do método da geodésica ter sido aplicado.

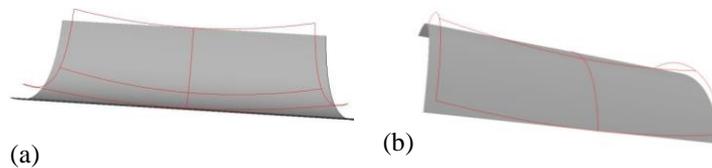


Figura 9. Passagem de forma cilíndrica para forma em concha (a) ; Passagem de forma cilíndrica para forma em sela (b)

O método da pseudo planificação por plastificação corrige as extensões plásticas na chapa com expressões geométricas (1-4) através de cálculos na passagem da forma

cônica ou cilíndrica (primeira curvatura da chapa) para a sua forma final que pode ser em concha (Fig.9-a) ou em sela (Fig.9-b).

$$\delta_{bainha_inf} = C_{long} \times d_s \times d_{i_inf} \times \cos \beta \quad (1)$$

$$\delta_{bainha_sup} = C_{long} \times d_s \times d_{i_sup} \times \cos \beta \quad (2)$$

$$\delta_{bainha_geo} = \frac{\delta_{bainha_sup} + \delta_{bainha_inf}}{2} \quad (3)$$

$$\cos \beta = \frac{\langle u, v \rangle}{\|u\| \cdot \|v\|} \quad (4)$$

As parcelas das expressões geométricas (1), (2) e (3) contêm as seguintes propriedades:

- C_{long} : curvatura longitudinal sobre a geodésica ao longo da chapa sendo calculada pela expressão $C_{long} = 1/R$, sendo R o raio de curvatura longitudinal da geodésica, calculado através de três pontos de intersecção entre três balizas consecutivas e a geodésica (Fig.10-a).
- d_s : perímetros da geodésica para os vários passos de baliza (Fig.10-b).
- d_{i_inf} e d_{i_sup} : são distâncias conforme explicado na Figura 11, para as bainhas inferior e superior respectivamente, nas secções transversais da chapa no plano vertical.
- β : ângulo que o plano de uma determinada baliza da chapa faz com o plano normal à tangente da geodésica, podendo ser calculado pelo produto interno entre dois vectores u e v (4), representados esquematicamente na Figura 12.

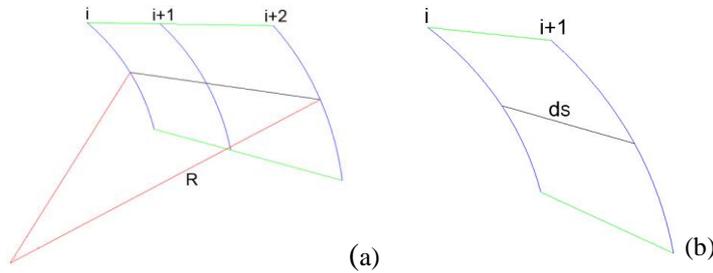


Figura 10. Curvatura longitudinal da geodésica entre três balizas (a) ; Perímetro da geodésica entre duas balizas (b)

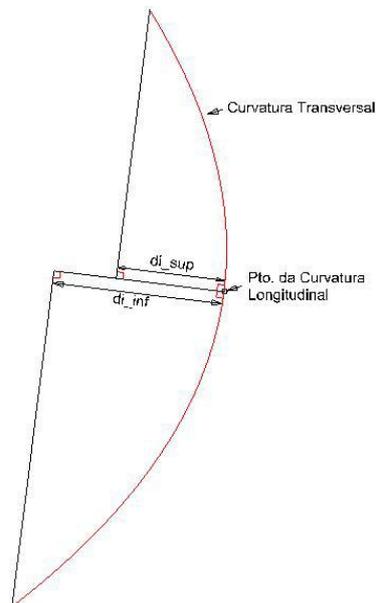


Figura 11. Distâncias di_{inf} e di_{sup} .

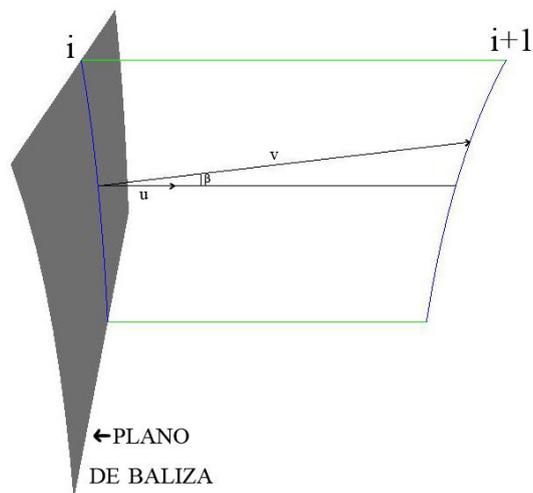


Figura 12. Ângulo que o plano de uma determinada baliza da chapa faz com o plano normal à tangente da geodésica.

Assim, o método da pseudo planificação por plastificação corrige os desenvolvimentos obtidos pelo método da geodésica, e refaz o último passo de planificação da chapa. No caso de a chapa pretendida for em concha, as correções

são feitas apenas nos desenvolvimentos das baínhas inferiores e superior com as expressões (1) e (2). Para as chapas em sela, a correcção é feita apenas no desenvolvimento da geodésica com a fórmula (3).

7 Testes feitos no programa

O programa foi testado em mais cinco chapas para além da chapa exemplo no mesmo casco de navio (Fig.13). As chapas 1 a 4 com a forma em concha, e a chapa 5 com a forma em sela, sendo o programa testado para os dois tipos de chapa existentes no caso de serem de dupla curvatura. Para estes testes o programa fez a sua rotina sem problemas e fornecendo os resultados esperados.

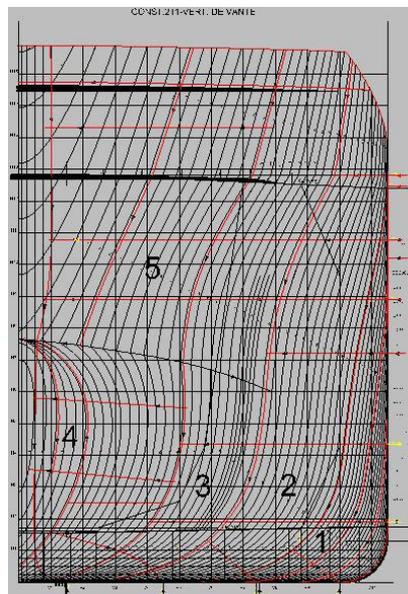


Figura 13. Plano vertical e distribuição de chapas do navio utilizado na execução de testes feitos no algoritmo criado.

8 Conclusões

Em termos de construção do algoritmo, foi bem-sucedido, pois o método da geodésica e o método da pseudo planificação por plastificação foram feitos através de expressões geométricas fiéis aos seus processos de aplicação, a única aproximação feita no algoritmo ocorreu nas expressões relativas às linhas de baliza no plano vertical da chapa, onde são consideradas arcos de circunferência com raios enormes em vez de se utilizarem polinómios para caracterizar estas linhas. Esta aproximação foi feita com o objectivo de simplificar o trabalho e ao mesmo tempo não comprometer os resultados finais, que como já foi visto na Tabela 1, os

resultados não divergem significativamente em relação à aplicação do método feito num sistema CAD.

Este tipo de programa já foi criado por outros autores, dois exemplos são os seguintes: o primeiro trata-se de uma aplicação em FORTRAN adaptado ao interface do AUTOCAD, em que faz a planificação das chapas planificáveis e as de dupla curvatura, o segundo exemplo trata-se de um método que pode ser programado (mas com maior dificuldade), e lida com as chapas de dupla curvatura de uma maneira diferente, permite o mapeamento (repartição) da superfície curva numa superfície plana.

Os dois exemplos mencionados anteriormente não têm em conta as extensões plásticas existentes no processo de enformação, sendo a grande vantagem do programa informático apresentado neste artigo, podendo ser uma mais-valia para o estaleiro ao lidar com chapas de dupla curvatura onde não é necessário a tentativa e erro para obter o corte de uma chapa nas dimensões correctas.

No que diz respeito a estudos efectuados fora de Portugal, estes têm ocorrido no oriente (Japão), onde diversas universidades têm artigos disponíveis ao público sobre estes assuntos, havendo mesmo um caso onde para além da automatização da planificação da chapa, existe também a automatização na aplicação de calores no processo de enformação, tendo sido implementada em alguns estaleiros navais locais.

9 Referências

Gordo, J., Resolução do Método Tradicional de Traçagem Utilizando o Autocad, Encontro de Engenharia Naval (2009) 1-12.

González López, P. B., Técnicas de Construcción Naval (Coruña: Universidade da Coruña, 2000).

Cacho, A., Guedes Soares, C., Método para o desenvolvimento de chapas baseado na geodésica, *O Mar e os Desafios do Futuro*, Edições Salamandra (2000) 411-430.

Rodrigues Branco, J. N., Guedes Soares, C., Mapping of Shell Plates of Double Curvature Into Plane Surfaces, *Journal of Ship Production*, Vol. 21 No. 4 (2005) 249-257.

Kim, S. Y., Automation of hull plates classification in ship design system using neural network method, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20 (2006) 463-504.

Jang, C. D., Moon, S. C., Ko, D. E., Acquisition of Line Heating Information for Automatic Plate Forming, *Journal of Ship Production*, Vol. 13 No. 1 (1997) 22-27.

Shin, J. G., Ryu, C. H., Nam, J. H., A Comprehensive Line-Heating Algorithm for Automatic Formation of Curved Shell Plates, *Journal of Ship Production*, Vol. 20 No. 2 (2004) 69-78.