

“RESOLUÇÃO DO MÉTODO TRADICIONAL DE TRAÇAGEM UTILIZANDO O AUTOCAD”

José Manuel Gordo

¹ CENTEC, IST, UTL
Lisboa, Portugal
jose.gordo@ist.utl.pt

Resumo

Apresenta-se o método tradicional de traçagem de chapas com dupla curvatura. O método é baseado na determinação de uma geodésica da superfície da chapa a qual será tomada como referência para a pseudo planificação da superfície da chapa. O método tradicional da geodésica em estaleiro utiliza virotes de madeira como instrumentos auxiliares. Estes virotes permitem obter linhas despoladas pelas suas características geométricas e mecânicas, as quais são adequadas ao processo produtivo e à obtenção de qualidade final aceitável na compatibilidade com as chapas adjacentes do forro. Porém este processo, adequado para as antigas salas do risco, não é facilmente adaptável quando o plano geométrico está disponível na forma digital, sendo necessário proceder a alterações que permitam obter a informação necessária ao processo de fabrico através de sistemas de desenho assistido por computador (CAD).

1 Introdução

A traçagem é o conjunto de actividades conducentes à geração dos elementos informativos necessários à manufatura do casco e processamento do aprestamento.

É uma actividade que faz a ponte entre o projecto e a produção, fornecendo a esta toda a informação necessária a partir dos desenhos da embarcação, com especial relevância para a utilização do plano vertical (Figura 1) como fonte primordial de informação.

Nos finais do século passado, e antes do desenvolvimento de aplicações informáticas capazes de estimar a ‘planificação’ de uma chapa com dupla curvatura, o método da geodésica era o mais utilizado nos estaleiros que disponham de boa capacidade técnica de desenvolvimento do projecto (Cacho e Guedes Soares, 2000).

Em estaleiros com menor capacidade técnica utilizava-se o método flamengo, o qual é mais rápido, mais simples e intuitivo, mas muito menos preciso, requerendo traçadores menos qualificados, Rodrigues Branco e Gordo (2008). Pela menor precisão, obrigava à utilização de margens nas chapas a enformar, originando operações suplementares de acabamento e compatibilização. Estas operações tornavam a manufatura deste tipo de chapas bastante mais dispendiosa e morosa em oficina.

Nos estaleiros que dispunham de máquinas de corte com comando numérico ou comando óptico à escala 1:10, e onde os desenhos de projecto tinham passado a ser executados a essa escala, usava-se muitas vezes máquinas de planificação. Estas máquinas, para além de permitirem poupar tempo nas operações de planificação, geravam imediatamente desenhos à escala que poderiam ser lidos directamente nas máquinas de oxicorte com leitura óptica à mesma escala.

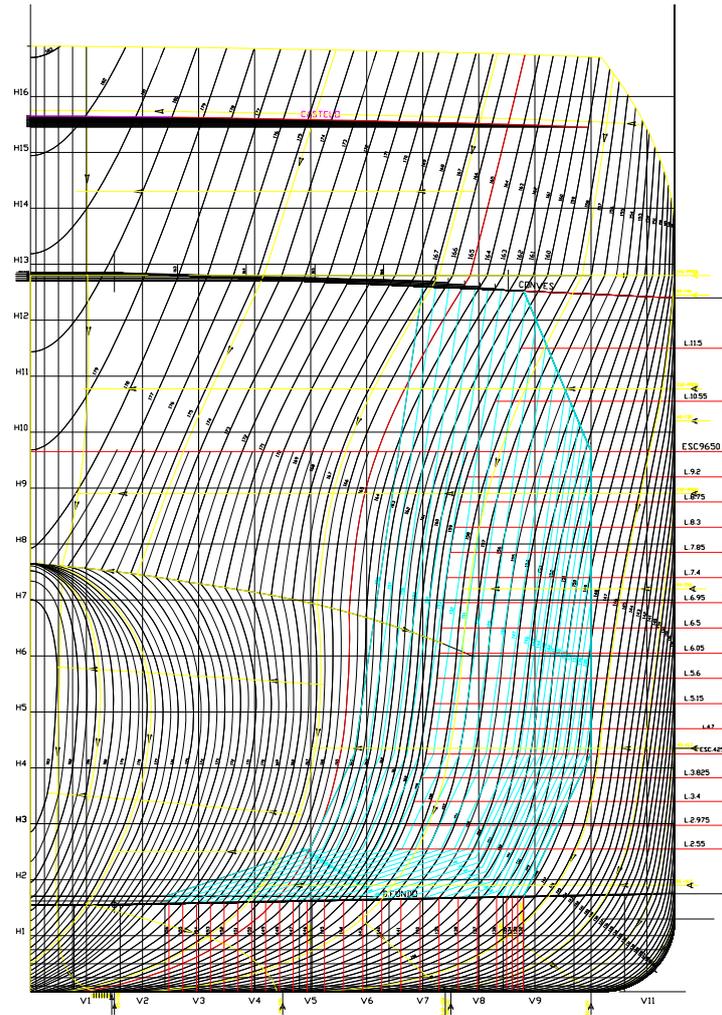


Figura 1 Plano Vertical - Vante

2 Método da geodésica

Este método assenta fundamentalmente na utilização de uma geodésica da superfície cónica da chapa a planificar como uma directriz à qual se referencia o seu contorno através das linhas de baliza.

A geodésica que se escolhe como directriz deve ser perpendicular, pelo menos, a uma linha de baliza. Deste modo, esta geodésica transformar-se-á, quando da planificação, numa recta - a *recta de base* - e manter-se-á perpendicular à linha de baliza escolhida, permitindo assim, a necessária referenciação.

Considere-se a representação duma chapa do costado de um navio com dupla curvatura no plano vertical, como a que se apresenta na Figura 2. Esta chapa é limitada por duas bainhas, superior e inferior, e dois topos, a vante e a ré. É ainda intersectada por 11 balizas de projecto. Inclua-se ainda as balizas imediatamente a vante e a ré dos topos, as quais irão servir para definir melhor os contornos da chapa durante a planificação.

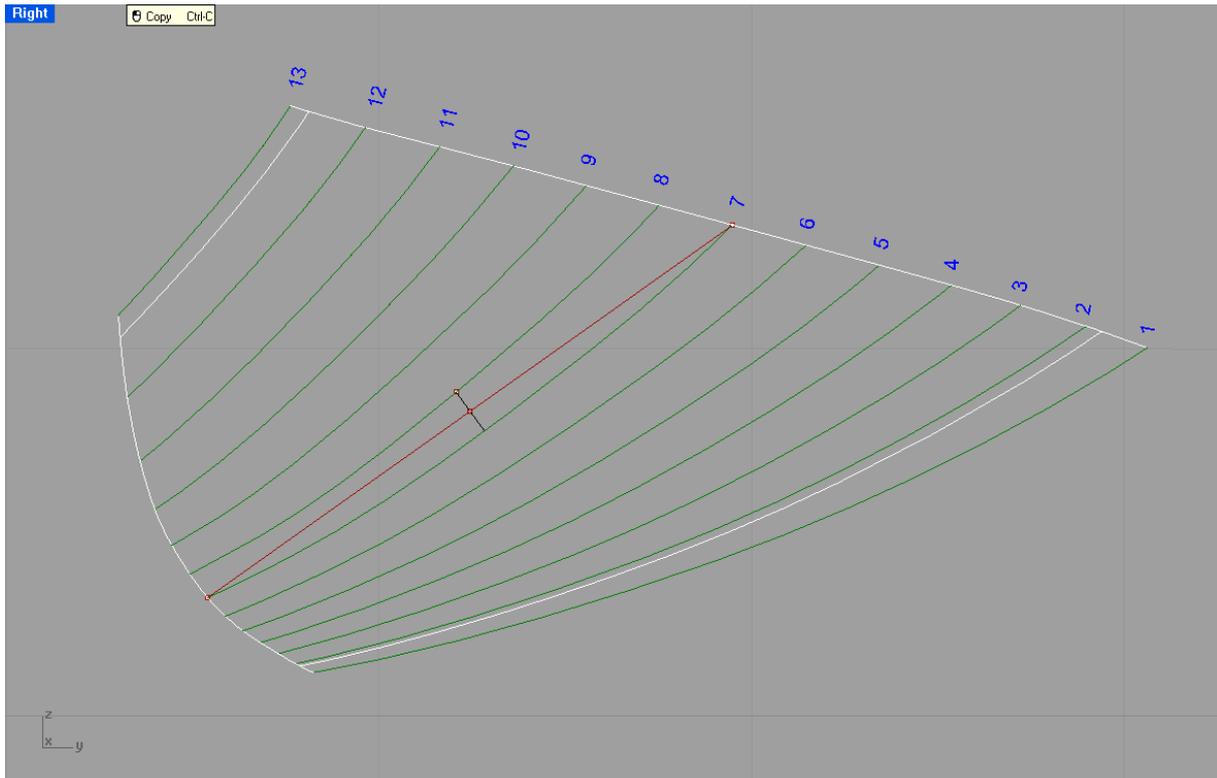


Figura 2 Chapa do costado com dupla curvatura no plano vertical

A aplicação deste método tem, como passo inicial, a traçagem de uma geodésica na superfície da chapa. Essa geodésica, transformar-se-á numa recta - a Recta de Base ou Directriz - quando da planificação da chapa e servirá assim de base às operações posteriores relativas a essa planificação. Convém, por isso, que a Recta de Base ocupe uma posição mediana e, deste modo, escolhe-se a geodésica que é perpendicular à linha da baliza central da chapa num ponto vizinho do seu ponto médio. Tendo como referência a geodésica traçada, é possível recolher a informação sobre todos os pontos e linhas notáveis da chapa e, utilizando as técnicas das projecções cotadas do desenho técnico, proceder à pseudo-planificação da chapa, isto é, à obtenção da sua verdadeira grandeza.

Assim os passos mais importantes do método são:

1. Traçagem da geodésica sobre o plano vertical
2. Recolha de elementos no plano vertical
3. Desenvolvimento das bainhas e da geodésica
4. Determinação da flecha planificada da baliza de referência
5. Planificação da chapa

2.1 Traçagem da geodésica

O processo de traçagem da geodésica sobre uma superfície começa pela escolha de um ponto inicial e de uma direcção. A escolha mais conveniente deverá recair sobre um ponto central da chapa pertencente a uma baliza de projecto que seccione a chapa em duas partes sensivelmente iguais. Neste exemplo escolheu-se a baliza 7. Podendo-se traçar infinitas geodésicas que passem por esse ponto, é conveniente escolher uma direcção facilmente identificável e referenciável. A direcção a escolher deve ser perpendicular à

baliza de projecto no ponto inicial, garantindo assim a manutenção da perpendicularidade à baliza durante a planificação.

Genericamente, escolhido um ponto inicial M da superfície S da chapa, Figura 3, define-se um plano através de dois vectores: um tangente à superfície T e outro normal à superfície N no ponto M . Este plano P intersecta a superfície gerando a curva C que liga M a M' .

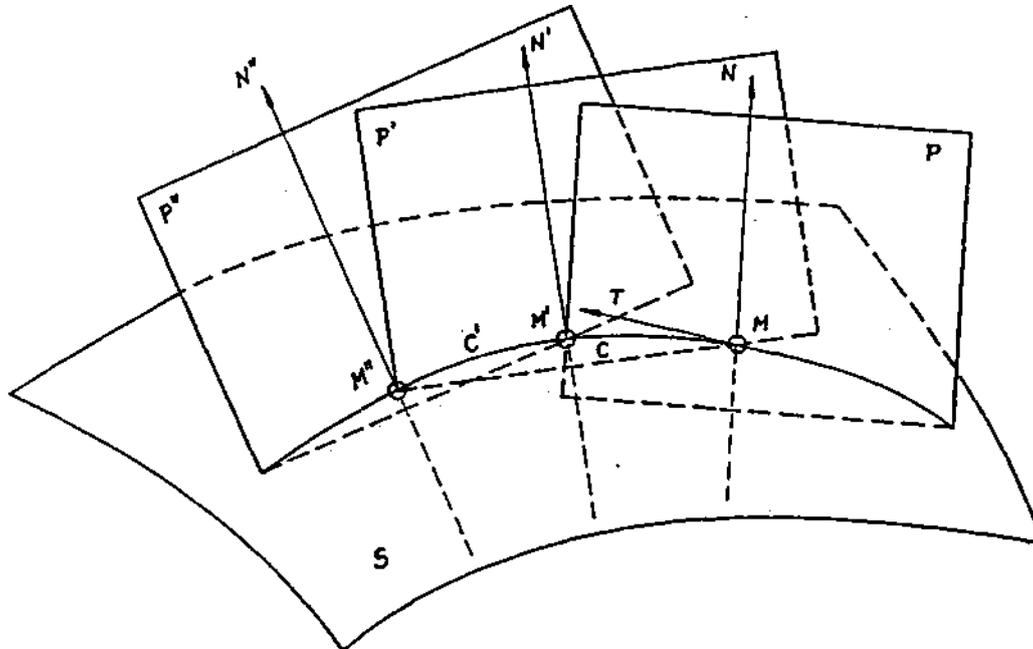


Figura 3 Princípio do método da geodésica

O processo repete-se no ponto M' , definindo-se um novo plano P' que passe por M e M' , e seja perpendicular à superfície em M' através da determinação do vector N' . Fica então definido um novo troço da geodésica através da curva C' que liga M' e M'' . Repetindo-se até aos limites da chapa, obtém-se uma geodésica da superfície definida por $M, M', M'', \text{etc.}$, a qual se transformará numa recta quando da planificação.

Note-se que o número de passos é determinante na qualidade da definição da geodésica e que este número é dependente da distância entre os pontos de referência $M, M', \text{etc.}$ No caso da superfície do casco de navios, as linhas disponíveis coincidem com as balizas de projecto não havendo grande margem de manobra para efectuar mais passos que o correspondente ao número de balizas que intersectam a chapa.

2.1.1 Traçagem da geodésica no plano vertical

Considere-se a chapa da Figura 2, representada no plano vertical, definida pelas bainhas, topos e traços das balizas de projecto. Considere-se ainda as duas balizas de projecto exteriores à chapa que se situam imediatamente a vante e a ré dos topos. Escolha-se a baliza central B_7 . Esta baliza intersecta as bainhas superior e inferior em s_7 e i_7 , respectivamente.

O primeiro passo consiste em definir uma perpendicular ao traço no plano vertical da baliza B_5 num ponto mediano da mesma. Podem-se usar dois processos:

- Escolher um ponto mediano do traço e definir uma perpendicular à curva nesse ponto, ficando definida a direcção da tangente t_7 à superfície da chapa no ponto P_5 e que é perpendicular ao traço da baliza de projecto B_7 ;

- b) Traçar uma recta que una os pontos s_7 e i_7 , calcular o ponto médio P_7' e definir uma perpendicular t_7 a essa recta, prolongando t_7 até à baliza B_7 . A intersecção com esta baliza define o ponto P_7 , que pertence naturalmente à geodésica e à baliza B_7 . Este processo é aproximado, por não garantir a perpendicularidade da tangente à baliza de projecto, mas é mais expedito com qualidade muito aceitável nas condições normais da forma do casco e aplicou-se no presente caso, Figura 2.

O prolongamento da tangente t_7 até à baliza adjacente define o primeiro troço da geodésica g_7 entre as balizas B_7 e B_8 . O ponto P_8 é naturalmente resultante da intersecção do plano de topo relativamente ao plano vertical definido por t_7 e n_7 , sendo este último a normal à superfície em P_7 .

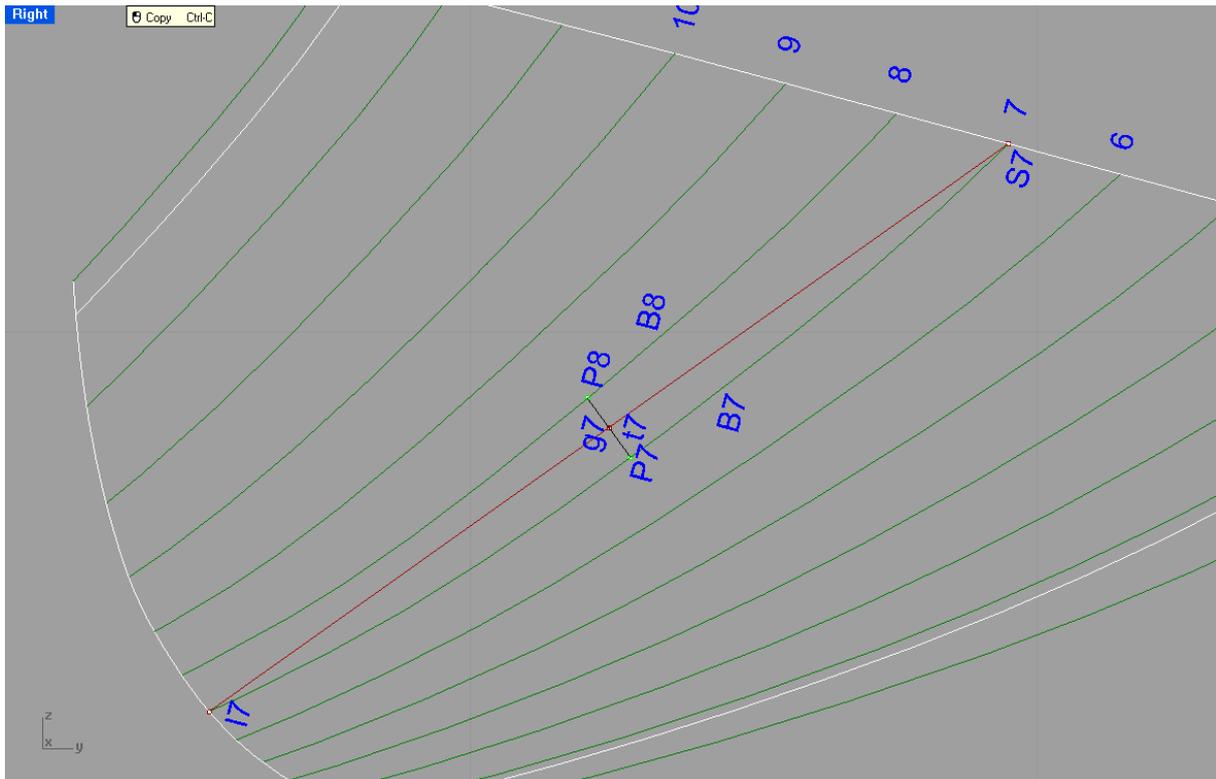


Figura 4 Primeiro troço de geodésica no plano vertical

Este plano intersecta ainda a baliza B_9 em P_9' , sendo este ponto definido pelo prolongamento no plano vertical da tangente t_7 até B_9 . P_9' não pertence normalmente à geodésica pois é resultado da intersecção de um plano com B_9 que é normal a P_7 e não a P_8 . Torna-se pois necessário definir a direcção da normal n_8 à baliza no ponto P_8 , no plano vertical. Basta, para tal, definir uma direcção perpendicular à curva B_8 no ponto P_8 .

O plano definido pela normal n_8 e g_7 que passa por P_8 intersecta a baliza B_9 em P_9 , dando origem ao troço de geodésica g_8 . Este último passo e determinação de P_9 requer, no entanto, uma construção auxiliar para ser implementado, devido ao facto de estarmos a trabalhar num único plano, o vertical. A determinação de P_9 requer o desenvolvimento das projecções no plano longitudinal e a determinação de um ponto auxiliar pertencente a t_7 que será projectado no plano vertical segundo a direcção n_8 , como se representa na .

Seja PB o espaçamento entre balizas e v_7 a projecção no plano vertical do segmento P_7P_8 definido por t_7 . Seja v_8' a distância no plano vertical entre P_8 e P_9' , e v_8'' o comprimento da projecção vertical do ponto da superfície cónica definida pelas balizas B_7 e B_8 que dista longitudinalmente o espaçamento entre balizas PB de P_8 e na direcção de P_9 .

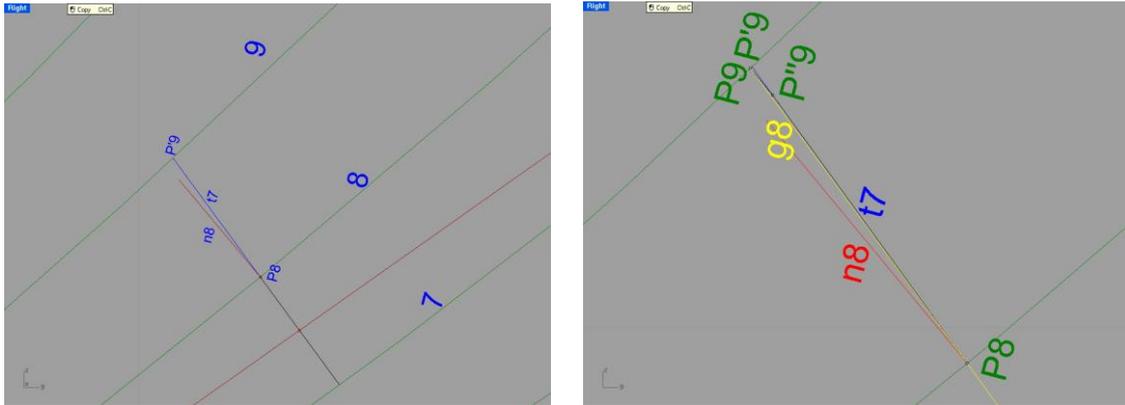


Figura 5 Construção do 2º troço de geodésica

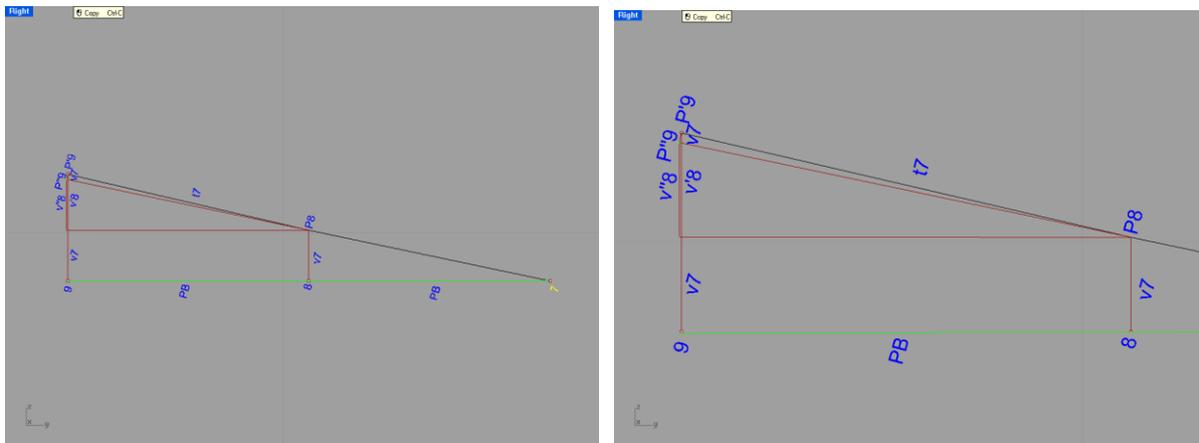


Figura 6 Construção auxiliar no plano longitudinal para determinação da projecção da geodésica no plano vertical

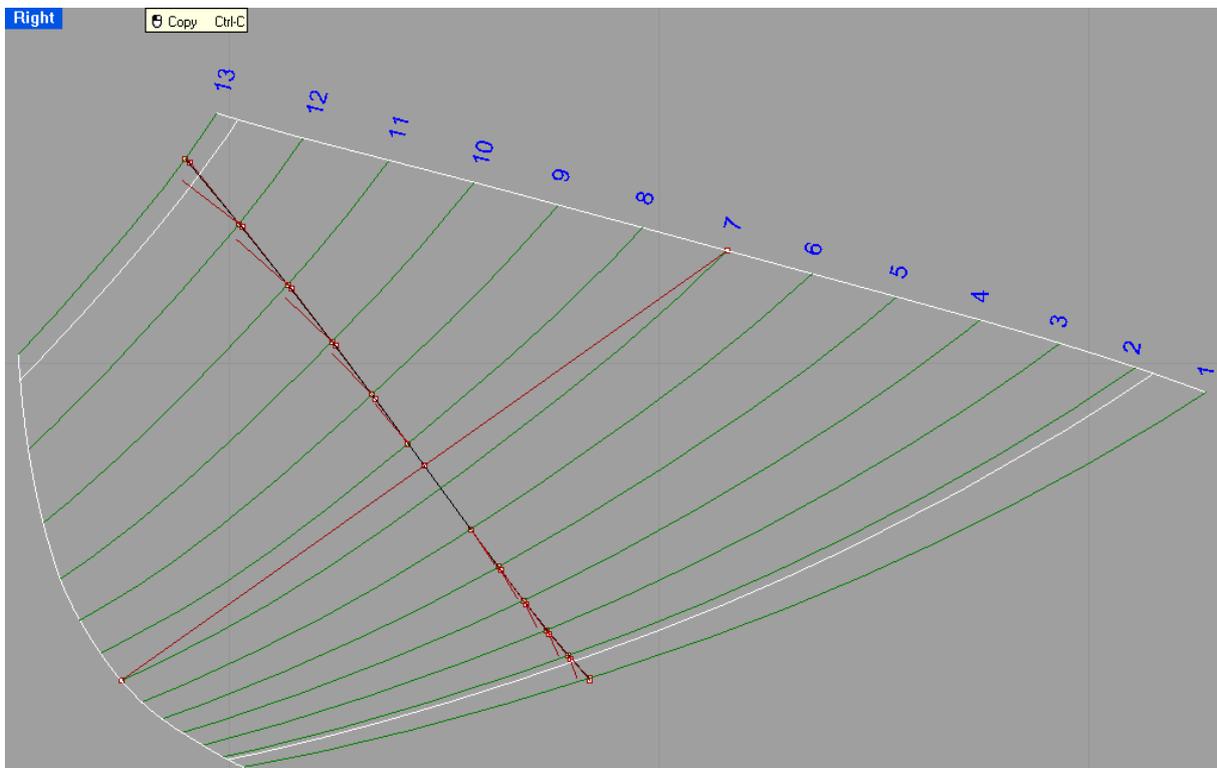


Figura 7 Projecção da Geodésica no plano vertical

Através da construção abaixo obtêm-se esta distância v_8'' . Marcando esta distância a partir de P_8 sobre o segmento P_8P_9' têm-se a projecção vertical do ponto P_9'' . A partir deste ponto traça-se uma paralela à direcção da normal n_8 e a sua intersecção com B_9 define o ponto P_9 no plano vertical, Figura 5. Está definido o troço de geodésica g_8 no plano vertical e a repetição do processo gera a geodésica ao longo da chapa projectada no plano vertical tal como se pode ver na Figura 7.

2.1.2 Desenvolvimento da geodésica

Uma vez determinada a geodésica, esta curva transformar-se-á numa linha recta durante a planificação. É no entanto necessário conhecer a sua verdadeira grandeza e a localização dos pontos notáveis da mesma sobre a recta.

O desenvolvimento tradicional baseia-se na construção de triângulos rectângulos entre cada duas balizas tendo como catetos o espaçamento entre balizas e a projecção no plano vertical do troço de geodésica correspondente, Figura 9. A hipotenusa resultante é a verdadeira grandeza desse troço de geodésica. A junção de todos os troços de forma sequencial dá origem à recta da geodésica com todos os pontos notáveis identificados.

Nota-se que se deve utilizar uma baliza suplementar a vante e a ré da chapa para se obter uma boa qualidade e resolução nos extremos da chapa quando da planificação.

Nos sistemas de CAD o procedimento é em tudo semelhante ao tradicional, começando-se por traçar uma recta de base sobre a qual se marcam pontos distanciados do espaçamento entre balizas, referenciando cada baliza. Por estes pontos traçam-se rectas perpendiculares à recta de base, sobre as quais se marcam os comprimentos dos troços de geodésicas entre essas balizas a partir dos troços já desenvolvidos.

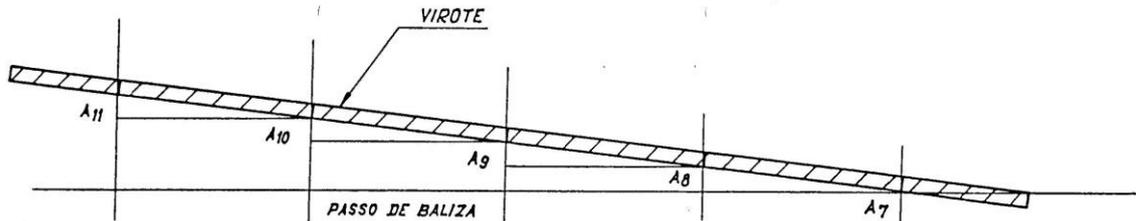


Figura 8 Desenvolvimento da geodésica: tradicional

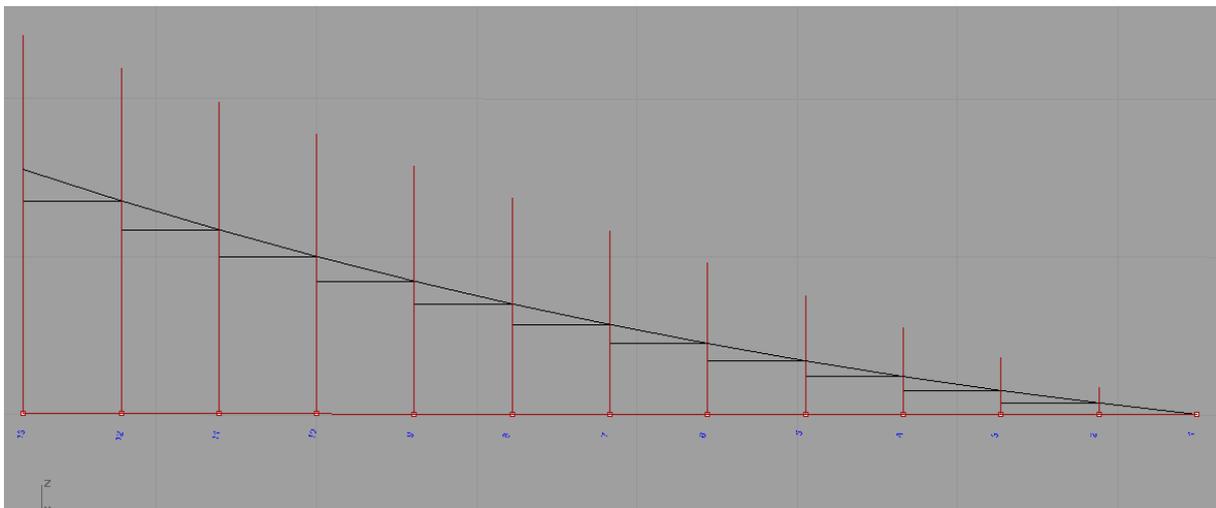


Figura 9 Desenvolvimento da geodésica: CAD

2.1.3 Flecha planificada da baliza de referência

Considere-se uma projecção longitudinal da chapa em que se fazem coincidir os pontos da bainha superior e inferior num baliza, tal como se mostra na Figura 10:

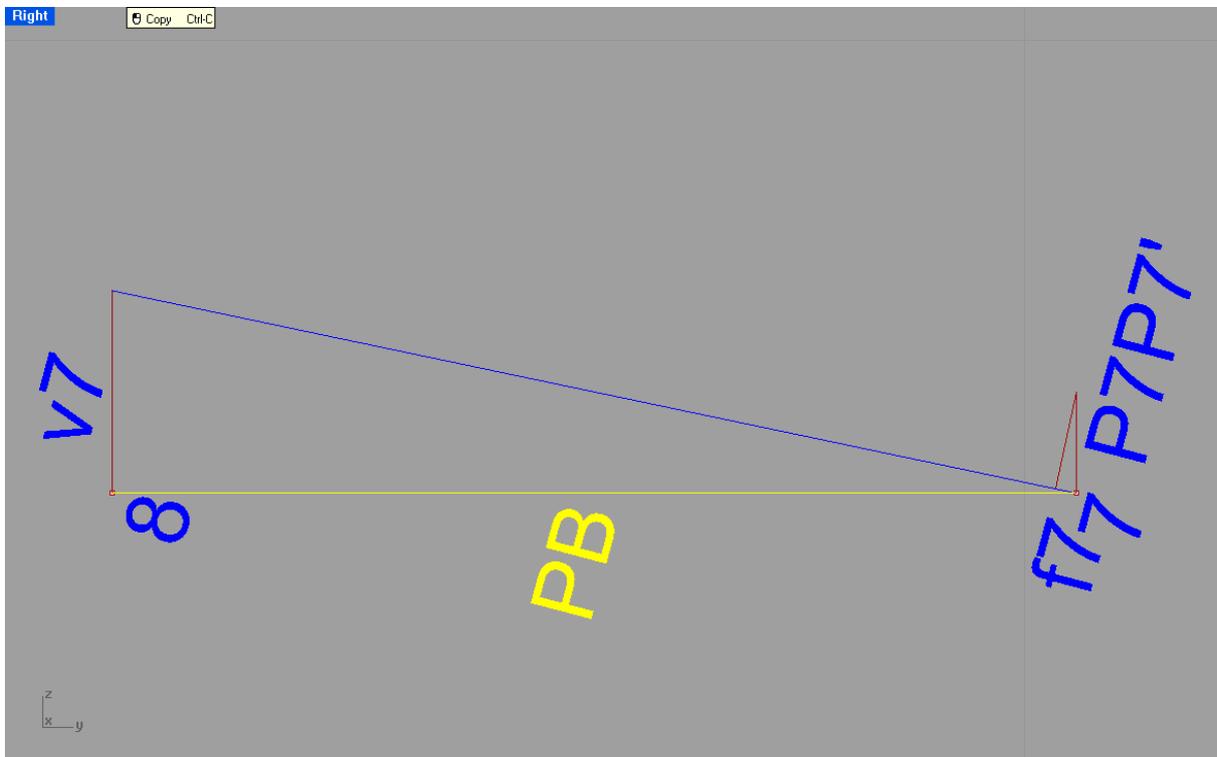
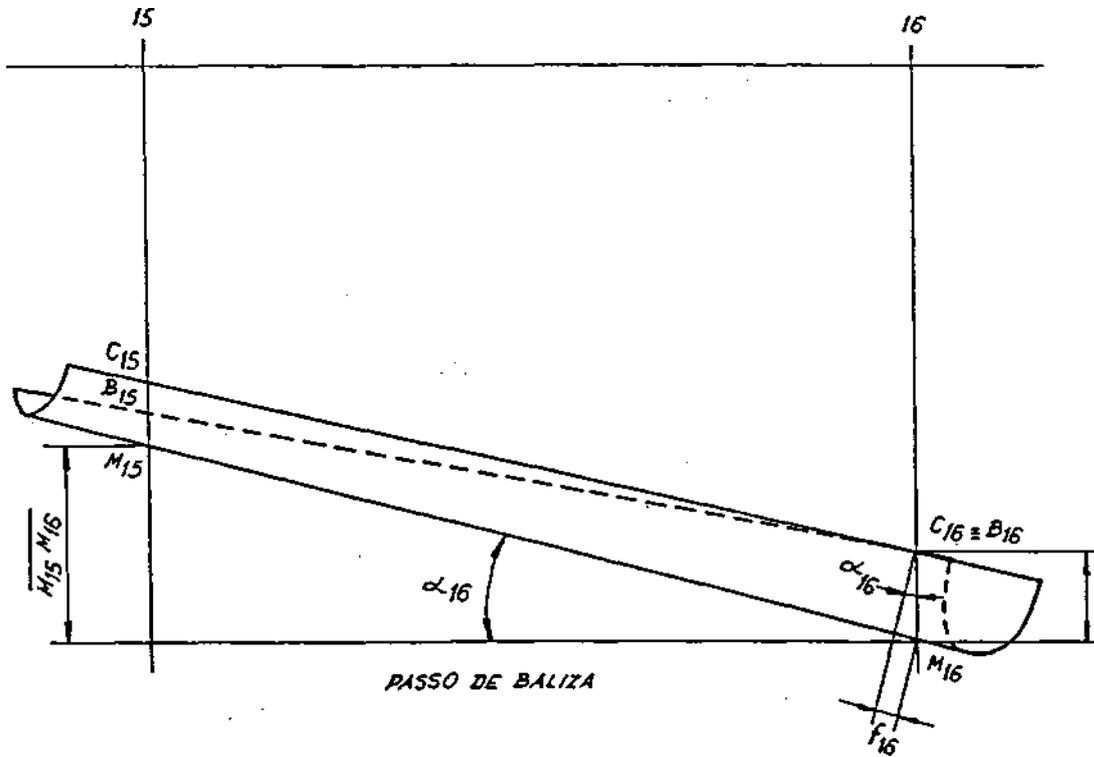


Figura 10 Cálculo da flecha planificada da baliza central: tradicional e CAD

Na planificação estes pontos serão marcados sobre uma recta perpendicular à recta de base e o ponto P_7 ficará distanciados do cruzamento destas rectas da distância f_7 , que é a

flecha pretendida. Este ponto será o ponto de partida para todo o desenvolvimento da planificação da chapa.

A distância projectada no plano vertical entre a recta que une os pontos da baliza nas bainhas e o ponto P_7 já está entretanto identificada durante a traçagem da geodésica no plano vertical, secção 2.1.1.

Graficamente pode-se calcular f_7 através de uma homotetia, utilizando as dimensões, P_7P_7' , v_7 e o comprimento real da geodésica entre os pontos P_7 e P_8 medido na curva de desenvolvimento da geodésica.

Numericamente a flecha é dada por:

$$f_7 = \frac{\text{Flecha da baliza } 7 \cdot v_7}{\sqrt{PB^2 + (v_7)^2}} \quad (1)$$

2.2 Recolha de elementos da chapa no plano vertical

No método tradicional, a recolha dos elementos significativos da chapa faz-se com o auxílio de viotes, com os quais se media:

- 1) os perímetros das projecções das bainhas entre balizas de projecto, dados pelas distâncias ou perímetros das bainhas entre os pontos s_k s_{k+1} ou i_k e i_{k+1} , e
- 2) os perímetros das balizas definidos pelas curvas que passam nos pontos s_k , p_k e i_k , que são respectivamente as intersecções da baliza k com a bainha superior, geodésica e bainha inferior.

Nos sistemas de CAD existem funções pré-definidas que permitem medir estas grandezas: podem-se usar os comandos da distância entre pontos ou o perímetro de uma curva entre dois pontos, isto é, o comprimento do arco. Em alguns sistemas de CAD esta última função não está disponível, mas a distância entre pontos consistiu uma boa aproximação dada a baixa curvatura das chapas do casco.

2.2.1 Desenvolvimento das bainhas

O desenvolvimento das bainhas superior e inferior segue o mesmo procedimento utilizado para a geodésica, isto é, utilizando a construção sucessiva de triângulos rectângulos.

Os três desenvolvimentos são, normalmente, colocados no mesmo desenho, Figura 11, e sobrepostos a partir de um dos extremos, o que permite detectar rapidamente eventuais erros ou mau desenvolvimento preliminar.

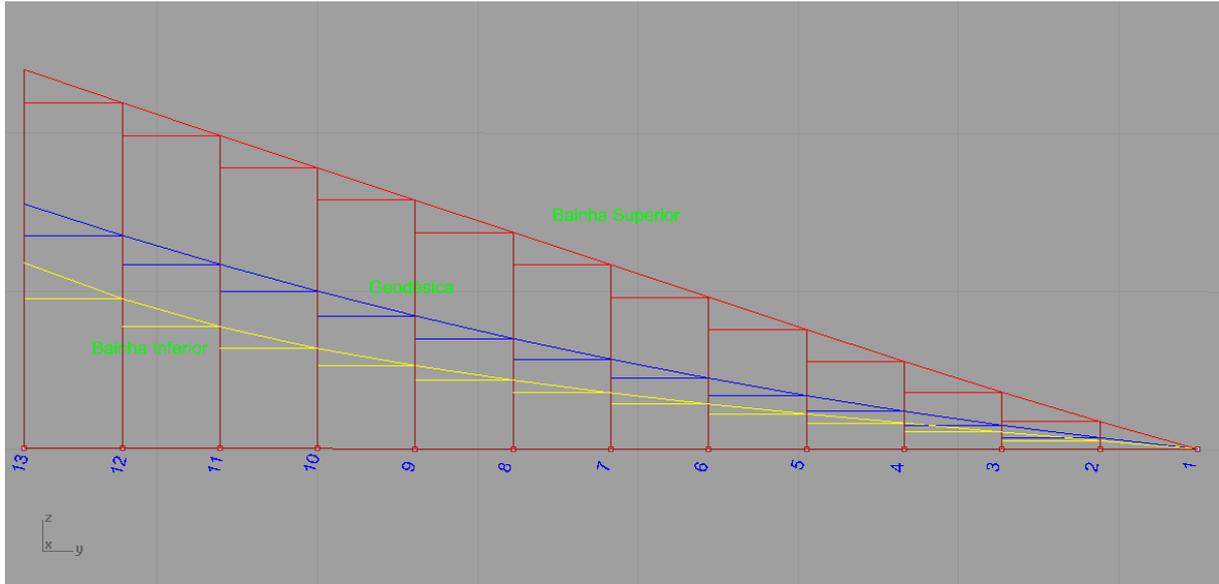


Figura 11 Desenvolvimento da geodésica e bainhas

2.3 Planificação da chapa

No método tradicional, Figura 12, a planificação da chapa faz-se pela utilização conjunta dos três viotes do desenvolvimento da geodésica, das bainhas, das balizas relativamente à geodésica e do valor da flecha da baliza de referência.

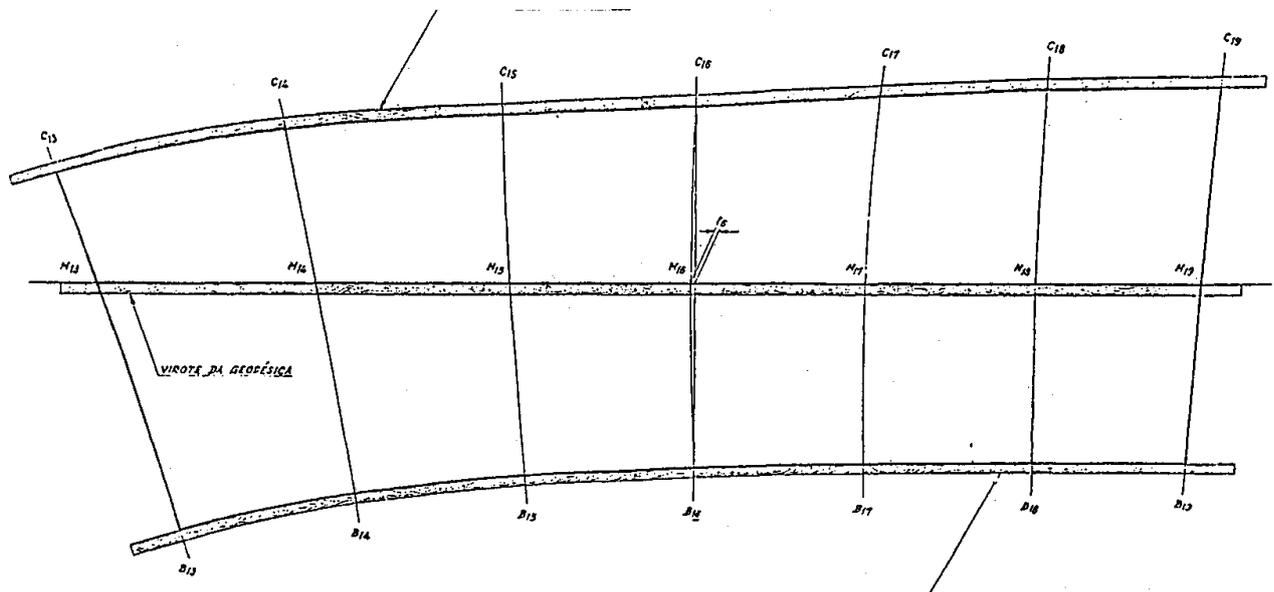


Figura 12 Planificação da chapa com viotes no sistema tradicional

Num sistema de CAD é necessário fazer algumas adaptações ao método para substituir os viotes.

Pode-se seguir os seguintes passos:

- começa-se por traçar a recta de base e por um dos pontos levanta-se uma perpendicular;

- marca-se o ponto P_7 à distância f_7 do ponto de intersecção encontrado, tendo em consideração o sentido em que se encontra o vértice da superfície cónica em que se insere a chapa.
- (- Alinha-se o virote da geodésica pela recta de base fazendo coincidir o ponto P_7 marcado com o ponto P_7 do virote. Fixa-se o virote;
- coloca-se o virote das balizas em cima do virote da geodésica fazendo coincidir o ponto central daquele com o ponto P_7 deste. Fixam-se os virotes;
- determinam-se os pontos S_7 e I_7 fazendo rodar o virote das balizas até que esses pontos, marcados no virote, coincidem com a perpendicular traçada anteriormente;)
- CAD: Define-se o ponto da bainha S_7 (I_7) que pertence à baliza B_7 traçando um segmento a partir de P_7 com comprimento igual ao perímetro do segmento P_7S_7 (P_7I_7) cujo extremo pertence à perpendicular à recta base em P_7' , isto é, define-se a intersecção de uma circunferência de raio P_7S_7 com a recta perpendicular à recta base em P_7' .
- CAD: Os 3 pontos da baliza B_7 devem gerar uma poli-linha que necessita de ser definida pois tal informação será importante na fabricação e montagem. Para efeitos práticos, e sem introduzir erros que reduzam a qualidade, o traço da baliza na chapa planificada pode ser definido como um arco de circunferência, bastante fácil de utilizar em qualquer programa de CAD.
- (- colocam-se os virotes das bainhas com os respectivos pontos S_7 e I_7 em coincidência com os pontos determinados anteriormente. Fixam-se os virotes.)

Com estas operações fica planificada a baliza 7. Passa-se à baliza 8:

- (- coloca-se o virote das balizas sobre o virote da geodésica fazendo coincidir o ponto central daquele com o ponto P_8 deste. Fixam-se os virotes;
- faz-se coincidir o ponto S_8 do virote da bainha superior com o ponto S_8 do virote das balizas. Fixa-se o virote da bainha superior;
- faz-se coincidir o ponto I_8 do virote da bainha inferior com o ponto I_8 do virote das balizas. Igualmente se fixa o virote da bainha inferior.)
- CAD: S_8 (I_8) define-se como a intersecção de dois arcos de circunferência; um de raio igual ao perímetro superior (inferior) da baliza B_8 e o segundo de raio igual ao perímetro da bainha entre a baliza anterior, S_7 , e a actual, S_8 .
- CAD: Une-se os 3 pontos já definidos com o mesmo critério utilizado na baliza de referência.

Procede-se de igual modo para as restantes balizas. A união de todos os pontos da bainha superior e inferior geram o contorno da chapa planificada.

Na Figura 13 apresenta-se a planificação da chapa inicialmente representada no plano vertical.

Resta-nos fazer as seguintes considerações:

- as linhas que definem a planificação da chapa são as correspondentes às arestas dos virotes que contêm os diversos pontos em coincidência;
- para que na planificação não sejam introduzidos erros, os virotes devem ter a mesma secção e a sua espessura deve ser muito próxima da chapa a planificar.
- todo o processo em CAD pode ser automatizado para a aplicação do método da geodésica à planificação de chapas

- a automatização e tratamento numérico permitem introduzir correcções para ter em consideração os métodos de fabrico que de outra forma não poderiam ser considerados (Letcher, 1993), nomeadamente as correcções por plastificação mecânica ou térmica (Rodrigues Branco e Guedes Soares, 2005).

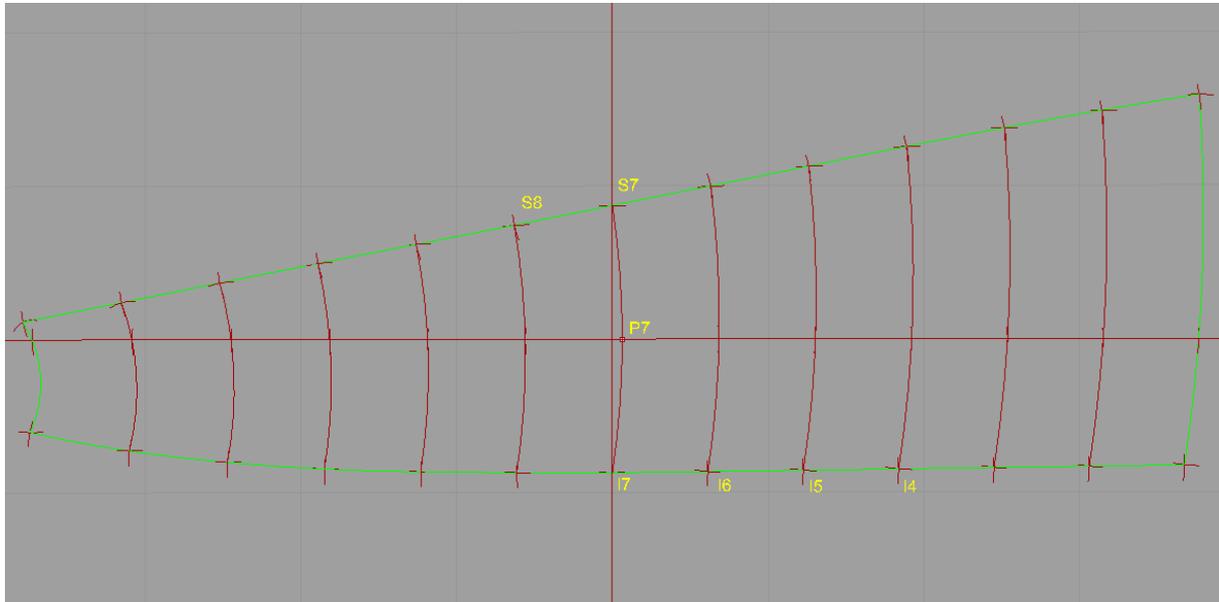


Figura 13 Chapa planificada

Referências:

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

Letcher, J.S. (1993), 'Lofting and fabrication of compound curved plates', *Journal of Ship Research*, 37 (2), 166–175

Rodrigues Branco, J. e Gordo, J.M., (2008), "Apontamentos de Tecnologia de Estaleiros Navais", IST.

Rodrigues Branco, J. e Guedes Soares, C., (2005), 'Mapping of Shell Plates of Double Curvature into Plane Surfaces', *Journal of Ship Production*, 21 (4), 248–257