Caixas Ativas e Passivas

SKY 3000 , SKY 2200 , SKY 700 , SKY 600 e NASH 1244

Áreas de Cobertura e Quantidade de Público

www.studior.com.br Homero Sette 18 - 07 - 2012

A área coberta pelas caixas acima, em função do posicionamento das mesmas no recinto, bem como a quantidade de público adequadamente coberto, pode ser determinada a partir do procedimento que vamos apresentar a seguir.

Para facilitar o entendimento, temos na Fig. 1 a representação das quantidades chave para proporcionar uma melhor visualização do problema.

São três essas variáveis:

1 – Ângulo de inclinação α .

Quanto menor este ângulo, maior será a distância de cobertura final, C_2 , alcançada e mais distante da *origem* ficará o inicio da cobertura C_1 . A diferença $C_2 - C_1$ corresponde ao comprimento total coberto no *plano da adição.*

A *origem* fica exatamente abaixo do ponto de suspensão da caixa, de modo que $C_1 = 0$ significa que a cobertura começa neste ponto. É conveniente que a origem esteja à frente dos microfones, ou seja, após a mesa dos palestrantes ou do início do altar, para reduzir a possibilidade de microfonia.

O *plano da audição* corresponde à altura média dos ouvidos dos ouvintes. Para pessoas sentadas, normalmente, este valor é igual a 1,2 m.

Quando o ângulo de inclinação α é igual a zero, a distância coberta C_2 tende para infinito, independentemente do valor de Θ_V .

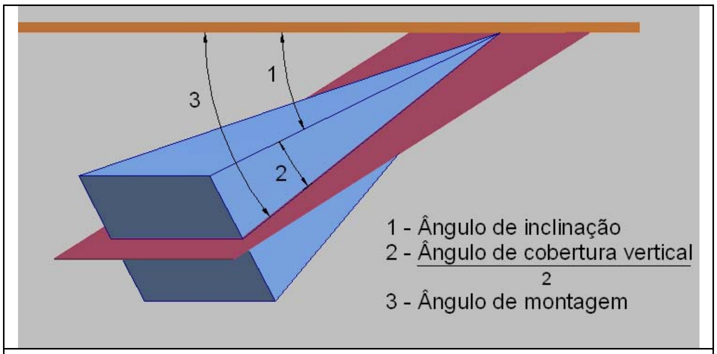
A soma de $\alpha + \Theta_V$ deve ser, no máximo, igual a 90° para que a cobertura não invada a área dos palestrantes.

2 – Ângulos de Cobertura Θ_V e Θ_H .

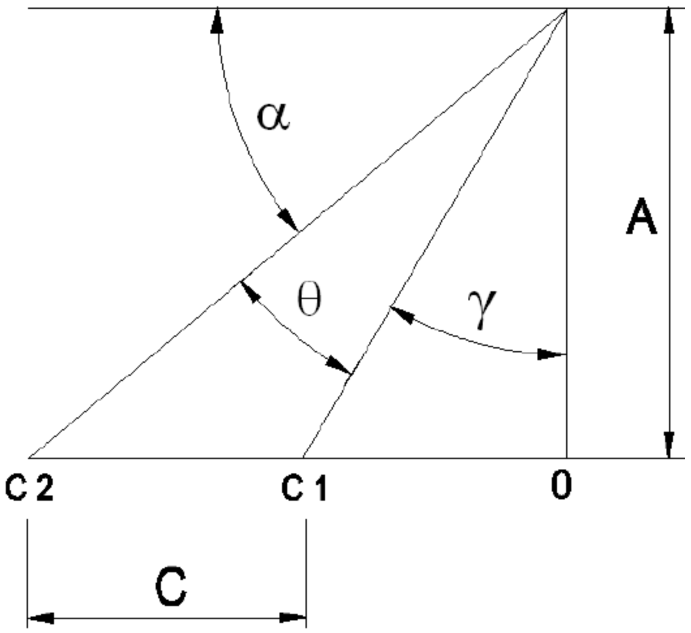
A região coberta por um transdutor pode ser simplificadamente representada como a interseção de um ângulo sólido (formado pelos ângulos de cobertura vertical Θ_V e horizontal Θ_H) com o plano de interesse, por exemplo, o da audição.

Embora esses ângulos variem com freqüências acima de 1 kHz, vamos considerá-los constantes e iguais aos valores nominais de catálogo.

Para as caixas acima citadas esses ângulos são:



Coberturas Vertical e Horizontal e o ângulo de inclinação 1.



Distâncias em função do ângulo de inclinação α da caixa e da altura A entre o ponto de montagem e o plano da audição.

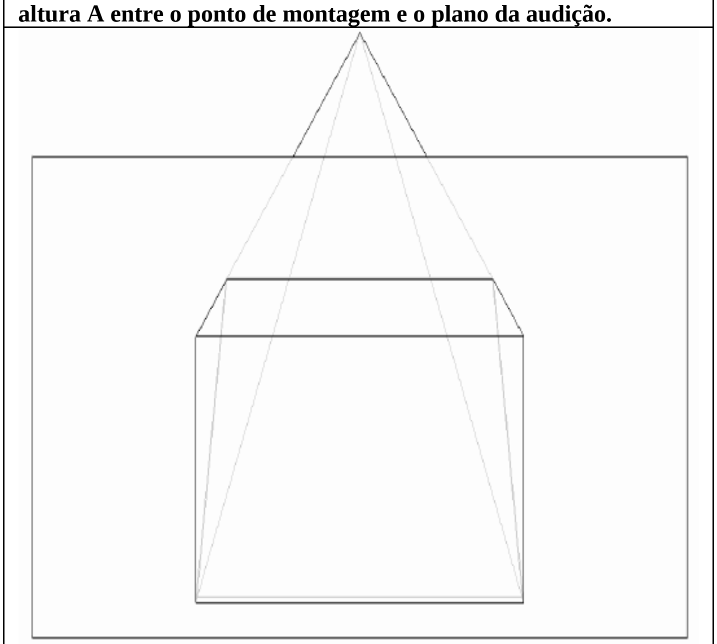


Fig. 1 - Cobertura resultante dos ângulos Θ_V e Θ_H

$\Theta_H = 90°$ e $\Theta_V = 50°$, pois utilizam o mesmo modelo de corneta. Em freqüências abaixo de 200 Hz a cobertura torna-se praticamente omnidirecional, ou seja, a energia sonora distribui-se naturalmente por todo o recinto. Assim, é muito importante o correto posicionamento das caixas para que o público receba bem as altas freqüências.

Variáveis da Sala

A_T = Altura Total da sala (Pé direito) .
L = Largura da Sala .
P_T = Profundidade Total da Sala .

A_M = Altura da Montagem da Caixa, devendo ser menor ou igual a A_T.
A_L = Altura do plano de audição (altura dos ouvido das pessoas sentadas).
$A = A_M - A_L$ = Altura de Operação.

Exemplo

Suponhamos que utilizando uma das caixas acima relacionadas desejamos cobrir adequadamente, com *cluster central*, um recinto com as dimensões resumidas na Tabela 1.

Sala	Montagem	Caixa
$A_T = 5$ m	$A_M = 4,5$ m	$\Theta_H = 90$
$L = 8$ m	$A_L = 1,2$ m	
$P_T = 29$ m	$A = A_M - A_L = 4,5 - 1,2 = 3,3$ m	$\Theta_V = 50$
$P_M = 25$ m	Cluster montado a 4 metros do fundo da sala	

Tabela 1 – Dados do Exemplo.

Cluster central significa que a caixa será montada na linha que divide a largura ao meio, em um ponto conveniente. Embora este termo (que significa aglomerado) sugira o uso de mais de uma caixa, neste exemplo vamos nos restringir a uma única.

Como o cluster será montado a 4 m do fundo da sala isso significa que, para fins de cobertura, a profundidade da sala será igual a 25 m. No entanto, para cálculo do volume da sala (tempo de reverberação) a profundidade continuará igual a 29 m.

Solução do Exemplo (pela ordem das curvas nas figuras 2 e 3)

A solução do exemplo utilizará dois gráficos (Figs. 2 e 3), onde:
a) O eixo vertical, graduado em graus, representa o ângulo de inclinação α da caixa ;
b) O eixo horizontal, adimensional, representará os comprimentos de interesse divididos pela altura de operação **A** (normalização em relação a **A**), e a área de cobertura normalizada em relação à A^2.

1 – Ângulo de Inclinação α

Escolha $\alpha = 9°$.
(Isto geralmente é feito após algumas tentativas até se chegar ao valor que produza a melhor cobertura.)

2 – Área de Cobertura Total, S_T

Nas Figs. 2 ou 3 (neste exemplo usar a Fig. 3) traçar uma linha reta horizontal partindo do valor do ângulo de inclinação $\alpha = 9°$, no eixo vertical, até encontrar a primeira curva (superior) para obter a *área total coberta*, normalizada em relação à altura de operação ao quadrado, A^2.
Neste caso, usando a Fig. 3, obteremos 43.
Como o valor, fornecido pelo gráfico, está normalizado (dividido) por $A^2 = 3,3^2 = 10,89\ m^2$, vem:
$S_T = 43 \cdot 3,3^2 = 43 \cdot 10,89 = 468,27 \simeq 468\ m^2$ que é a *área total coberta*.
Se a cobertura (vertical ou horizontal) ultrapassar os limites das dimensões da sala deveremos calcular a área útil de cobertura, S_U, conforme veremos adiante.

3 – Largura Maior, L_2

Nas Figs. 2 ou 3 (neste exemplo usar a Fig. 2) traçar uma linha reta horizontal partindo do valor do ângulo de inclinação $\alpha = 9^\circ$, no eixo vertical, até encontrar a curva azul tracejada (segunda de cima para baixo) para obter a largura maior, normalizada em relação à altura de operação A.
Neste caso, usando a Fig. 2, obteremos $L_2 / A = 12{,}8$. Assim, $L_2 = 12{,}8 \cdot A = 12{,}8 \cdot 3{,}3 \simeq 42{,}2 \text{ m}$.

4 – Largura Total $L_2 - L_1$

Nas Figs. 2 ou 3 (neste exemplo usar a Fig. 2) traçar uma linha reta horizontal partindo do valor do ângulo de inclinação $\alpha = 9^\circ$, no eixo vertical, até encontrar a curva vermelha tracejada (terceira de cima para baixo) para obter a largura total, normalizada em relação à altura de operação A.
Neste caso, usando a Fig. 2, obteremos $(L_2 - L_1)/ A = 12{,}45$. Assim, $L_2 - L_1 = 12{,}45 \cdot A = 12{,}45 \cdot 3{,}3 \simeq 34{,}5 \text{ m}$.

5 – Comprimento Maior, C_2

Nas Figs. 2 ou 3 (neste exemplo usar a Fig. 2) traçar uma linha reta horizontal partindo do valor do ângulo de inclinação $\alpha = 9^\circ$, no eixo vertical, até encontrar a curva azul (quarta de cima para baixo) para obter o comprimento maior, normalizado em relação à altura de operação A.
Neste caso, usando a Fig. 2, obteremos $C_2 / A = 6{,}3$. Assim, $C_2 = 6{,}3 \cdot A = 6{,}3 \cdot 3{,}3 \simeq 20{,}8 \text{ m}$.

6 – Comprimento Total $C_2 - C_1$

Nas Figs. 2 ou 3 (neste exemplo usar a Fig. 2) traçar uma linha reta horizontal partindo do valor do ângulo de inclinação $\alpha = 9^\circ$, no eixo vertical, até encontrar a curva vermelha (quinta de cima para baixo) para obter o comprimento total, normalizado em relação à altura de operação A.
Neste caso, usando a Fig. 2, obteremos $(C_2 - C_1)/ A = 5{,}8$. Assim, $C_2 - C_1 = 5{,}8 \cdot A = 5{,}8 \cdot 3{,}3 \simeq 19 \text{ m}$.

7 – Largura Menor, L_1

Nas Figs. 2 ou 3 (neste exemplo usar a Fig. 2) traçar uma linha reta horizontal partindo do valor do ângulo de inclinação $\alpha = 9^\circ$, no eixo vertical, até encontrar a curva verde tracejada (sexta de cima para baixo) para obter a largura menor, normalizada em relação à altura de operação A.
Neste caso, usando a Fig. 2, obteremos $L_1 / A = 2{,}3$. Assim, $L_1 = 2{,}3 \cdot A = 2{,}3 \cdot 3{,}3 \simeq 7{,}6 \text{ m}$.

8 – Comprimento Menor, C_1

Nas Figs. 2 ou 3 (neste exemplo usar a Fig. 2) traçar uma linha reta horizontal partindo do valor do ângulo de inclinação $\alpha = 9^\circ$, no eixo vertical, até encontrar a curva verde (sétima de cima para baixo) para obter o comprimento menor, normalizado em relação à altura de operação A.
Neste caso, usando a Fig. 2, obteremos $C_1 / A = 0{,}6$. Assim, $C_1 = 0{,}6 \cdot A = 0{,}6 \cdot 3{,}3 \simeq 1{,}98 \text{ m}$.

Comprovação I – Comprimento Total, $C_2 - C_1$

Com os valores obtidos em nos itens 5 e 8, temos:
$C_2 - C_1 = 20{,}8 - 1{,}98 = 18{,}82 \simeq 19 \text{ m}$, o que concorda com o valor obtido no item 6.

Comprovação II – Largura Total, $L_2 - L_1$

Com os valores obtidos em nos itens 3 e 7, temos:
$L_2 - L_1 = 42{,}2 - 7{,}6 = 34{,}6 \simeq 34{,}5 \text{ m}$, o que concorda com o valor obtido no item 4.

Discussão dos Resultados

Para isso é conveniente fazer um desenho com as dimensões obtidas, o que podemos ver nas Figs. 4 e 5.

Cobertura Vertical

Na Fig. 4 temos a representação da vista em corte vertical da sala.

O ponto logo abaixo do cluster foi tomado como referência 0 para os comprimentos.

A linha tracejada superior representa a altura de montagem A_M enquanto que na linha tracejada inferior temos a altura do plano de audição A_L.
Os valores das coberturas inicial e final, respectivamente 1,98 e 20,8 m estão representados no plano de audição, em relação ao ponto zero, ao pé do cluster.

Conforme podemos ver a cobertura final não alcançou o final da sala, em 25 m, chegando a 20,8 m.
A cobertura inicial começou 1,98 m adiante do pé do cluster.

Se esses resultados são ou não aceitáveis, depende das exigências do projeto.

Se desejarmos que a cobertura vertical termine exatamente em 25 m (a contar do pé do cluster) seria necessário diminuir o ângulo de cobertura α para $7{,}5^\circ$.
Esse valor foi obtido da seguinte forma:
1 – Normalize os 25 m em relação à altura de utilização, ou seja, $25 / 3{,}3 = 7{,}6$.
2 – Entre nas Figs. 2 ou 3 (neste exemplo usar a Fig. 2) com o valor normalizado, no eixo horizontal, e levante uma perpendicular até atingir a curva azul (quarta de cima para baixo) para obter o valor do ângulo de cobertura, no caso igual a $7{,}5^\circ$.
3 – Obtenha novamente todos os demais valores.

Caso o projeto transforme-se em um "cobertor curto", use duas caixas, montadas verticalmente, com ângulos de cobertura diferentes e ou ângulos de inclinação distintos, de modo a cobrir adequadamente toda a extensão desejada, evitando grandes superposições na região de transição (final da cobertura da caixa inferior com o inicio da cobertura da caixa superior).

Cobertura Horizontal

A Fig. 5 mostra a cobertura horizontal, no plano da audição.
Ali podemos ver que a largura inicial coberta, L_1, foi praticamente igual à largura da sala L.
No entanto a largura final extrapolou, em muito, os limites ditados pelas paredes laterais, pois a largura da cobertura final, L_2, foi igual a 34,5 m sendo a largura da sala L = 8 m.
Neste caso seria conveniente a colocação de material absorvente nas paredes laterais, para reduzir a intensidade do campo reverberante.
A largura menor, L_1, igual a 7,6 m, foi ligeiramente inferior à largura da sala L, o que é muito bom para a cobertura e para reduzir a reverberação.

Área de Cobertura Útil

A área coberta total, S_T, foi aproximadamente igual a 468 m^2, conforme o item 2.

No entanto, conforme vemos na Fig. 5, grande parte dessa área está fora dos limites da sala, onde não existe público. Para fins de cálculo da densidade de público, ou seja, pessoas por metro quadrado, precisamos conhecer a área coberta dentro dos limites da sala, ou seja, a área útil, S_U.

Como, neste exemplo, a largura inicial L_1 foi praticamente igual à largura da sala L, e o comprimento C_2 ficou dentro dos limites da sala, a área útil coberta será aproximadamente igual à área de um retângulo de altura L e comprimento $C_2 - C_1$, de modo que a área útil será dada por: $S_U = (C_2 - C_1)\cdot L = (20{,}8 - 1{,}98)\cdot 8 = 18{,}8\cdot 8 = 150{,}4 \simeq 150\ m^2$.

Quantidade de Público

Finalmente estamos em condições de responder à primeira pergunta geralmente feita: *Quantas pessoas podem ser cobertas pela caixa ?*

Área Útil 150 m^2	Densidade de Público $=$ Pessoas por m^2				
	1	2	3	4	5
	Quantidade de Pessoas Cobertas				
	$1 \cdot 150$	$2 \cdot 150$	$3 \cdot 150$	$4 \cdot 150$	$5 \cdot 150$
	150	**300**	**450**	**600**	**750**

Tabela 2 – Quantidade de pessoas cobertas em função da área útil S_U e da densidade de público praticada.

Uma vez calculada a área de cobertura útil, S_U, podemos pensar na densidade de público admissível, ou seja, quantas pessoas por metro quadrado queremos, podemos ou devemos acomodar.

A densidade de público pode ser limitada pelo número de cadeiras disponíveis, a possibilidade ou não de público de pé, e por razões de segurança.

Densidades de público superiores a 3 pessoas por metro quadrado podem ser muito perigosas em casos de emergência que necessitem de evacuação imediata.

Na tabela 2 vemos que podemos cobrir de 150 a 750 pessoas, dependendo da densidade praticada.

Este resultado também pode ser obtido na Fig. 6, entrando no eixo horizontal com a área de cobertura útil S_T e obtendo, no eixo vertical, a quantidade de pessoas, em função das curvas com as densidades de público que variam de 1 (inferior) a 5 (superior).

Aproveitamento da Sala

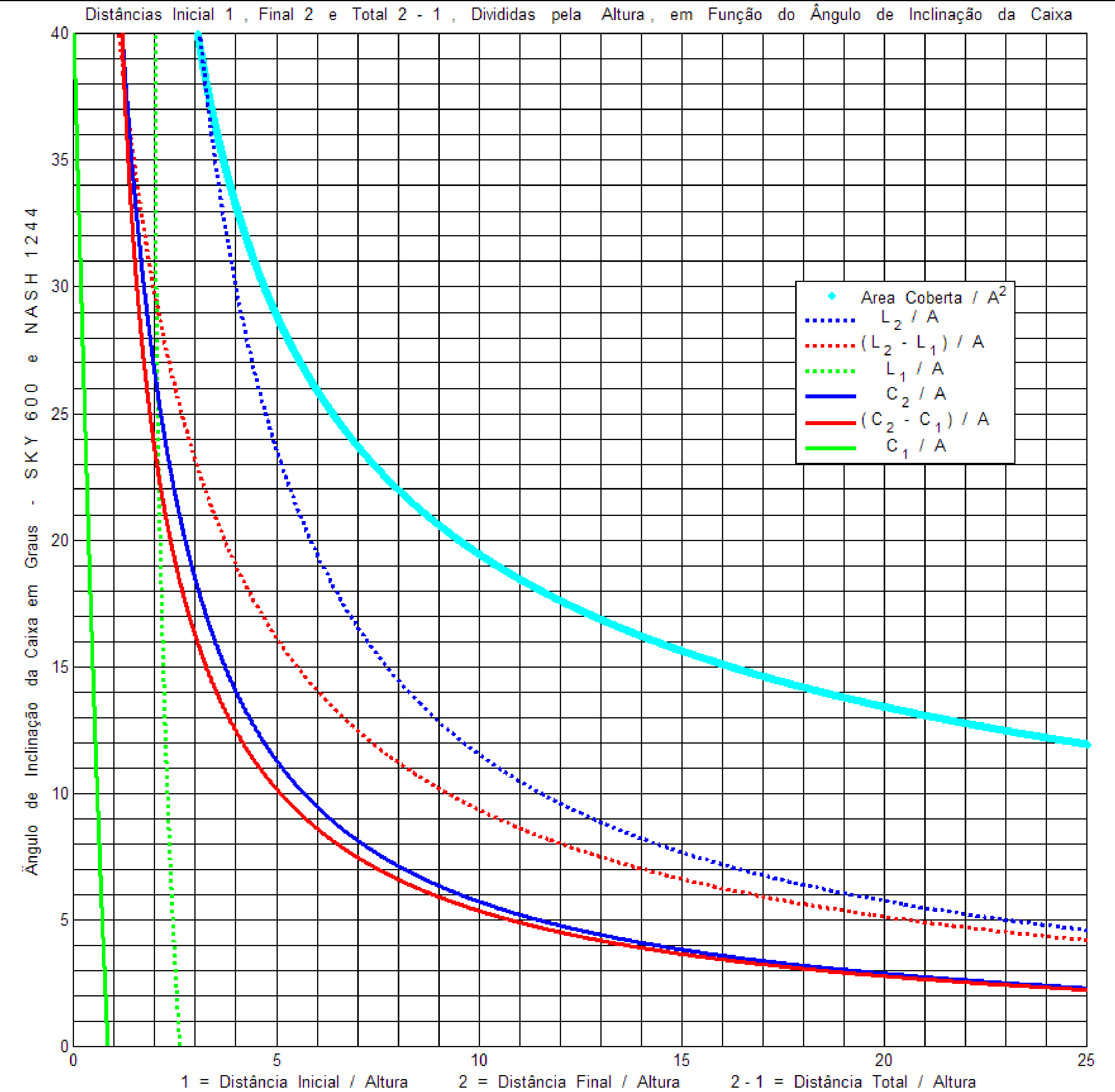
A sala do exemplo possuindo dimensões em metros iguais a 5 x 8 x 29 $(A_T \text{ x } L \text{ x } P_M)$, com uma área máxima de $8 \cdot 29 = 232 \ m^2$ perdeu $8 \cdot 4 = 32 \ m^2$ para acomodar os palestrantes, ficando a área disponível para o público igual a $232 - 32 = 200 \ m^2$. Com isso conseguimos um aproveitamento em termos de cobertura do público, em função da área disponível, igual a $100 \cdot (150 / 200) = 100 \cdot 0{,}75 = 75 \ \%$.

Devemos ressaltar que o pé direito pode ser um dos maiores fatores limitantes da cobertura quando este for pequeno em relação à profundidade.

Aumentando-se a altura de montagem A_M consegue-se uma maior distância de cobertura C_2, alem de resultar em menor variação da distância da caixa entre os ouvintes próximos e distantes, o que contribui eficazmente para a uniformidade do nível de pressão acústica produzida pelo campo direto.

Bibliografia

Projeto de Cluster Central para Igreja Evangélica
Homero Sette Silva
Apresentado na IX Convenção Nacional da AES, de 11 a 13 de Abril de 2005 em SP, SP.
Disponível em www.studior.com.br e www.homerosette.com.br

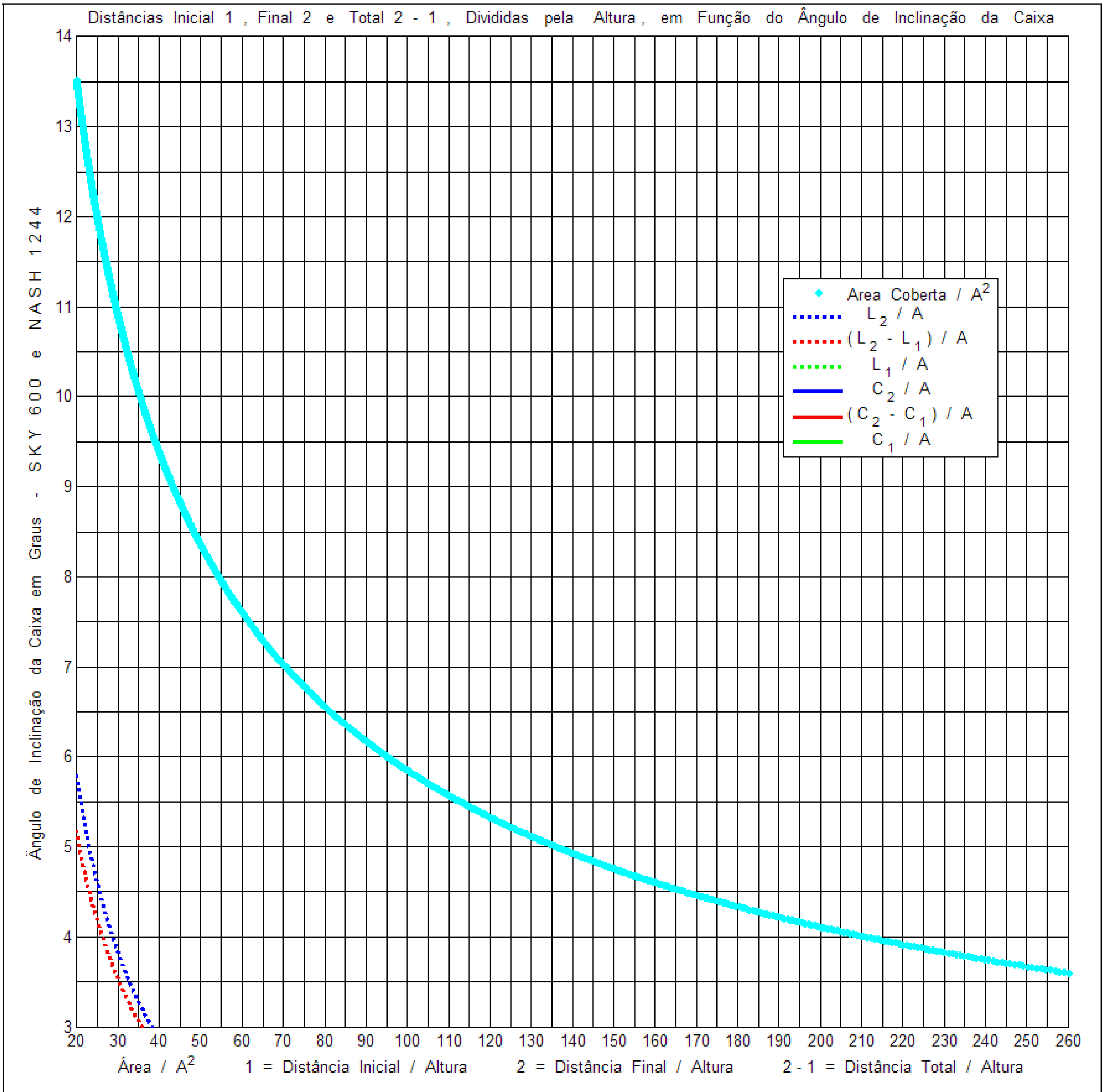


Variáveis normalizadas em relação à altura de operação (A).

Entrar com o ângulo de cobertura α para obter os valores desejados na curva.

	Área Coberta dividida por A^2	Multiplicar por	A^2	Para obter	Área	m^2
	Largura L_2 dividida por A		A		L_2	m
	Largura L_1 dividida por A				L_1	m
	Largura Total $L_2 - L_1$ dividida por A				$L_2 - L_1$	m
	Comprimento C_2 dividido por A				C_2	m
	Comprimento C_1 dividido por A				C_1	m
	Comprimento Total $C_2 - C_1$ dividido por A				$C_2 - C_1$	m

Fig. 2 - Obtenção da área e das distâncias cobertas.



Variáveis normalizadas em relação à altura de operação (A).

Entrar com o ângulo de cobertura α para obter os valores desejados na curva.

	Área Coberta dividida por A^2	Multiplicar por	A^2	Para obter	Área	m^2
■ ■ ■ ■ ■ ■	Largura L_2 dividida por A		A		L_2	m
■ ■ ■ ■ ■ ■	Largura Total $L_2 - L_1$ dividida por A		A		$L_2 - L_1$	m

Fig. 3 - Obtenção da área e das distâncias cobertas.

Fig. 4 - Cobertura Vertical

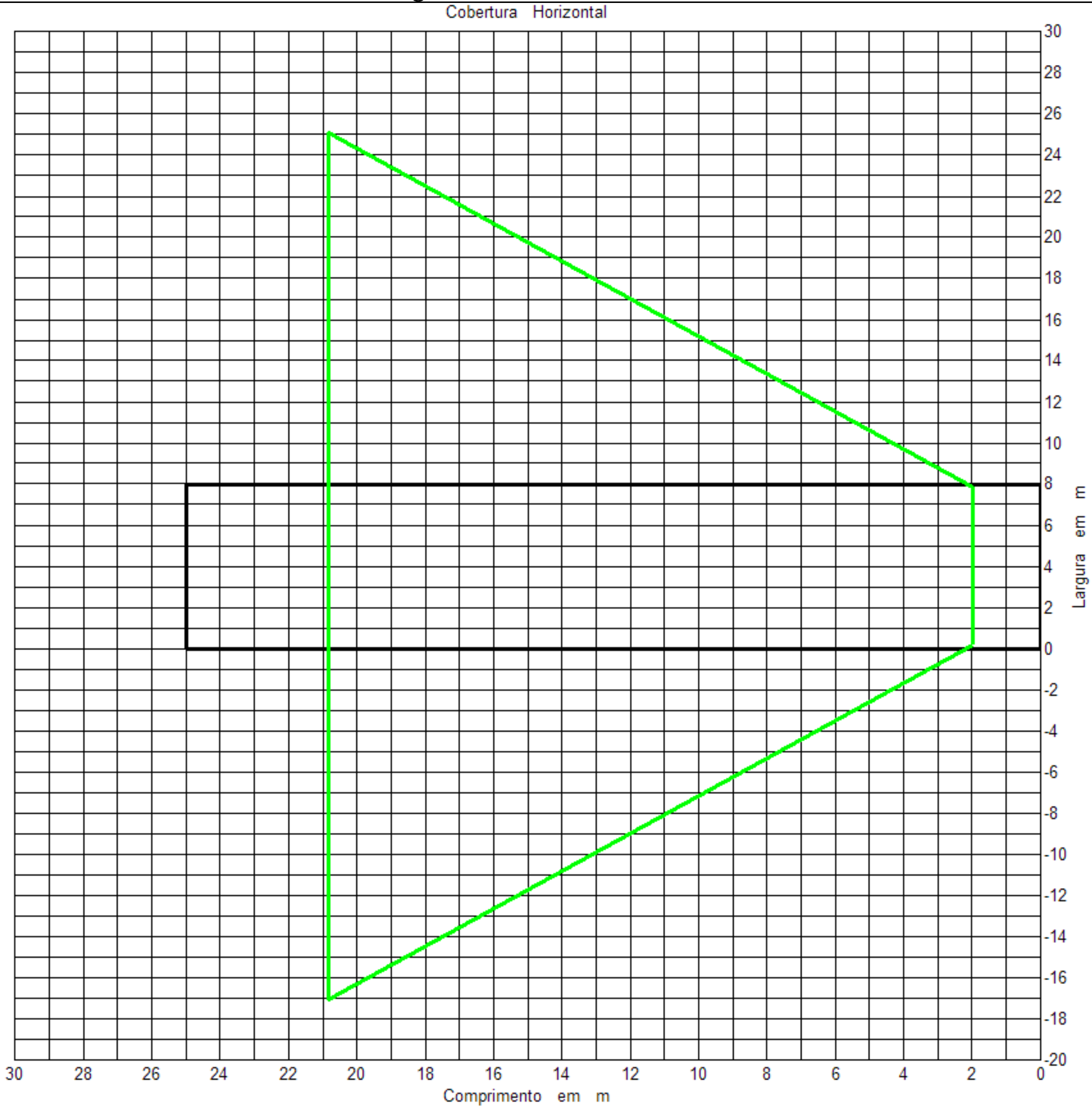


Fig. 5 - Cobertura Horizontal

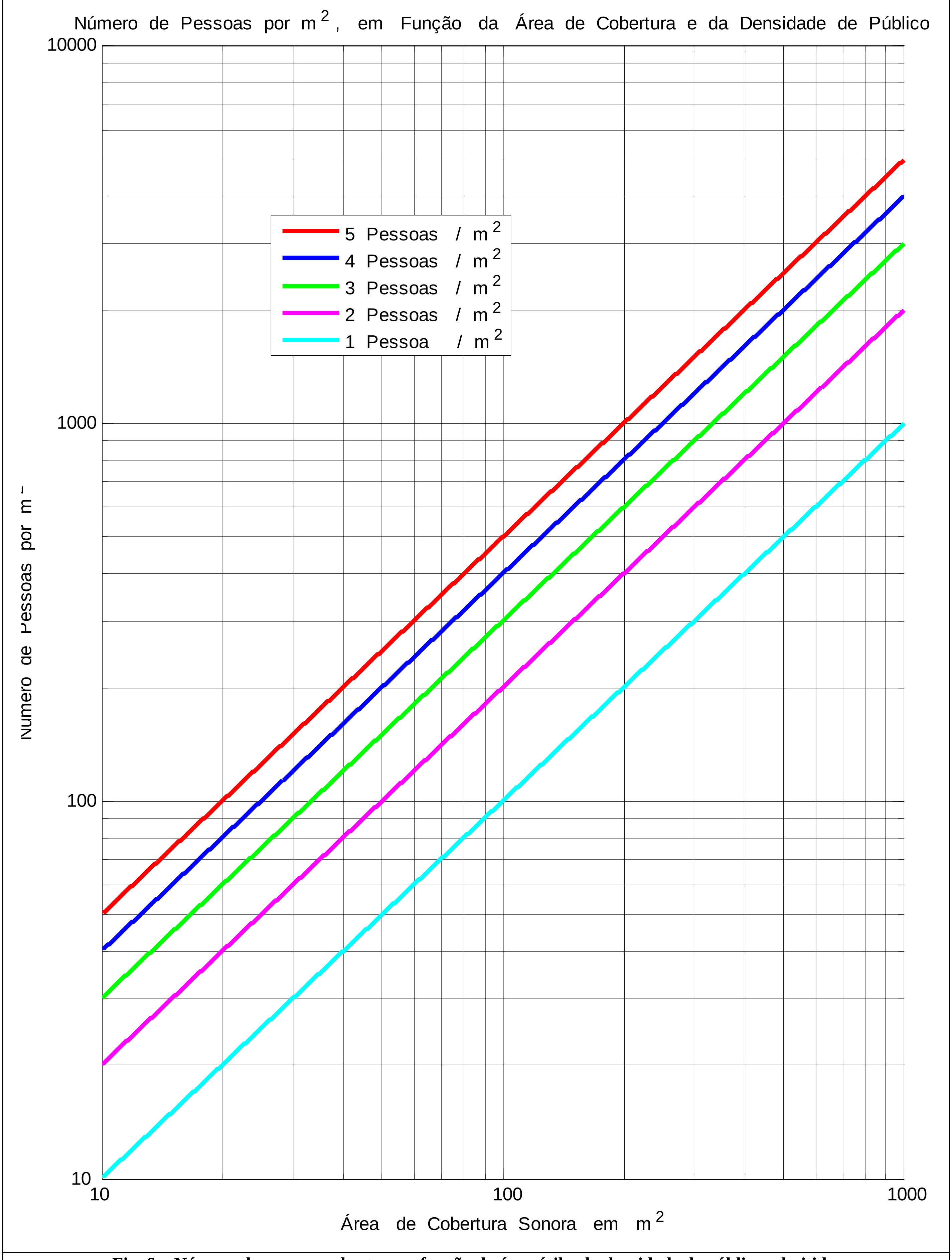
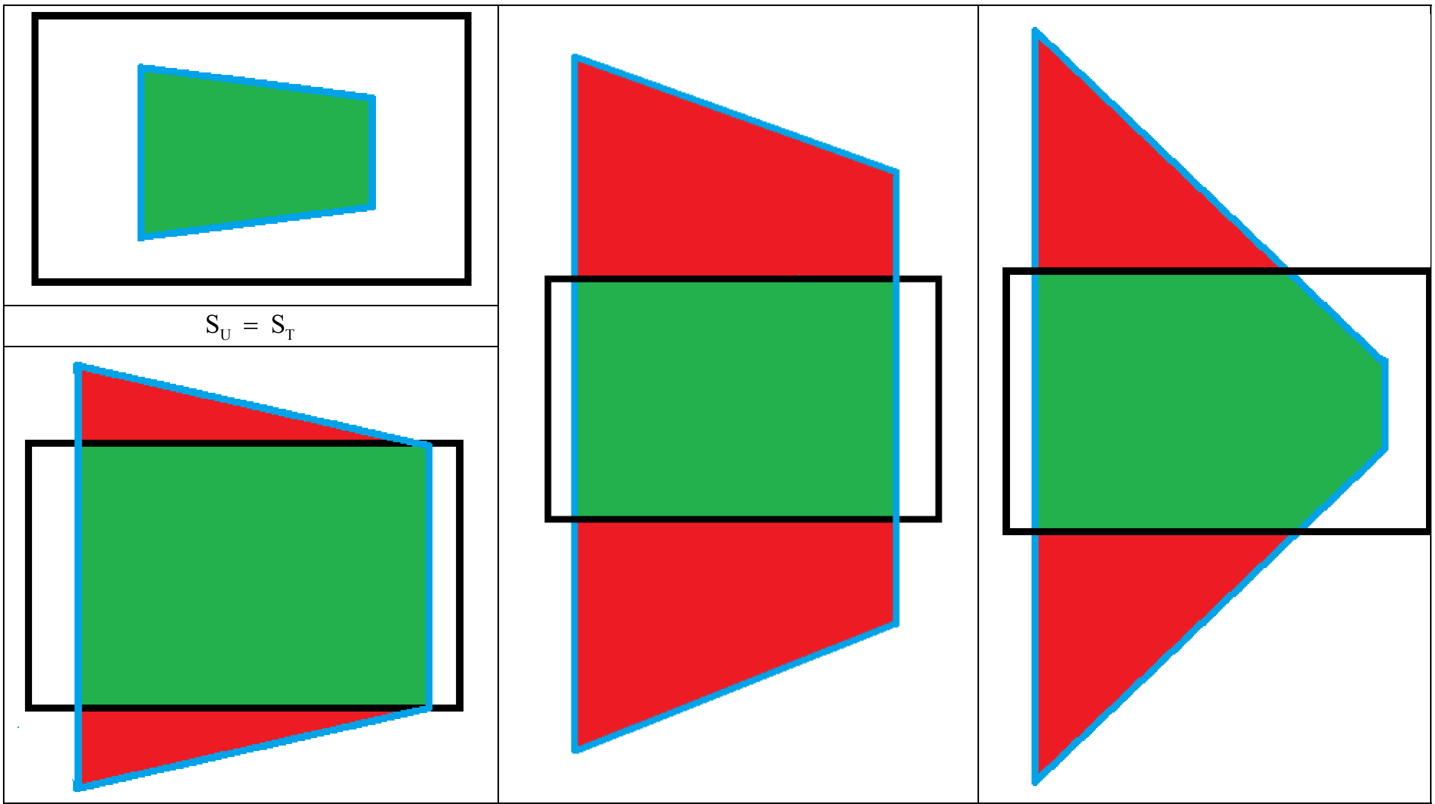


Fig. 6 - Número de pessoas cobertas em função da área útil e da densidade de público admitida.

Apêndice 1 - Como obter a Área Útil S_U , em função da Área Total, S_T



$S_U = (C_2 - C_1) \cdot L$ Se $L_1 = L$	$S_U = (C_2 - C_1) \cdot L$ Se $L_2 > L_1 \geq L$	$S_U = S_T - 0{,}5 \cdot (L_2 - L) \cdot C_X$ Se $L_2 > L > L_1$

Fig. 7 - Obtenção da Área de Cobertura Útil, S_U , em função de quatro tipos de cobertura.

Na figura 7 vemos quatro tipos de coberturas possíveis.

Na última cobertura foi necessário introduzir a variável C_X , que é a distância de cobertura onde a largura coberta torna-se igual à largura da sala.

Para a obtenção do valor dessa variável temos os gráficos das Fig. 9 e Fig. 10 (expandido para maior resolução), normalizados em relação à Altura de Operação.

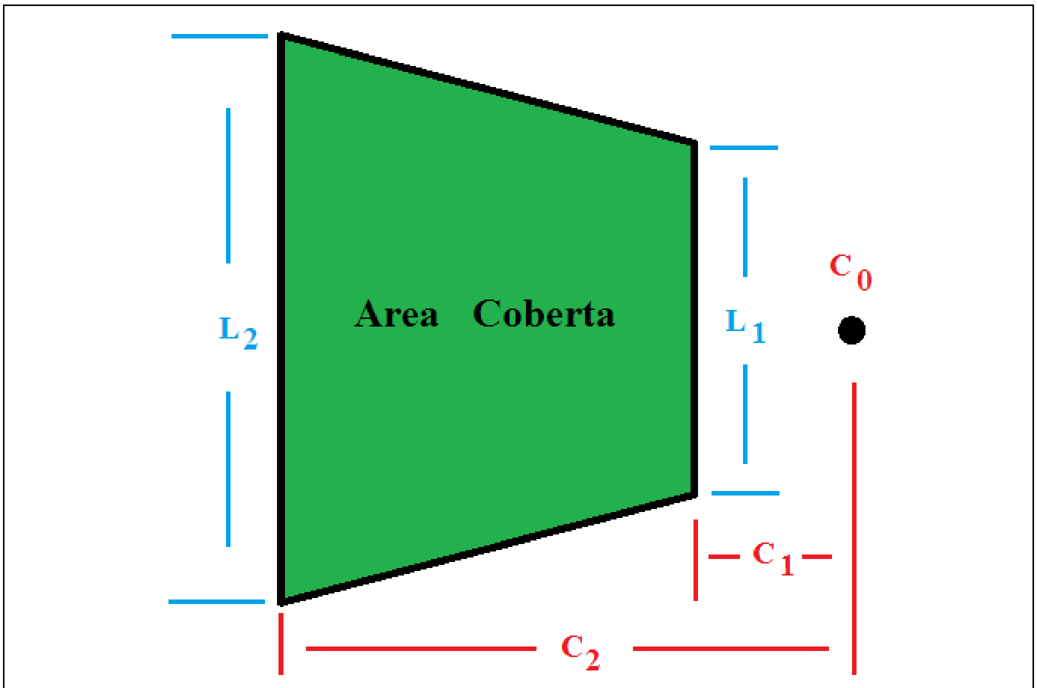


Fig. 8 – Distâncias envolvidas na área de cobertura.

No caso do nosso exemplo anterior, entraremos no eixo horizontal da Fig. 8 com o valor $8 / 3{,}3 = 2{,}42$ e levantaremos um reta vertical até encontrar a curva.

Feito isso, traçaremos uma reta horizontal, passando pelo ponto de interseção, e obteremos no eixo vertical 0,68 , que multiplicado por 3,3 será igual a 2,24 metros, o que concorda com a Fig. 5.

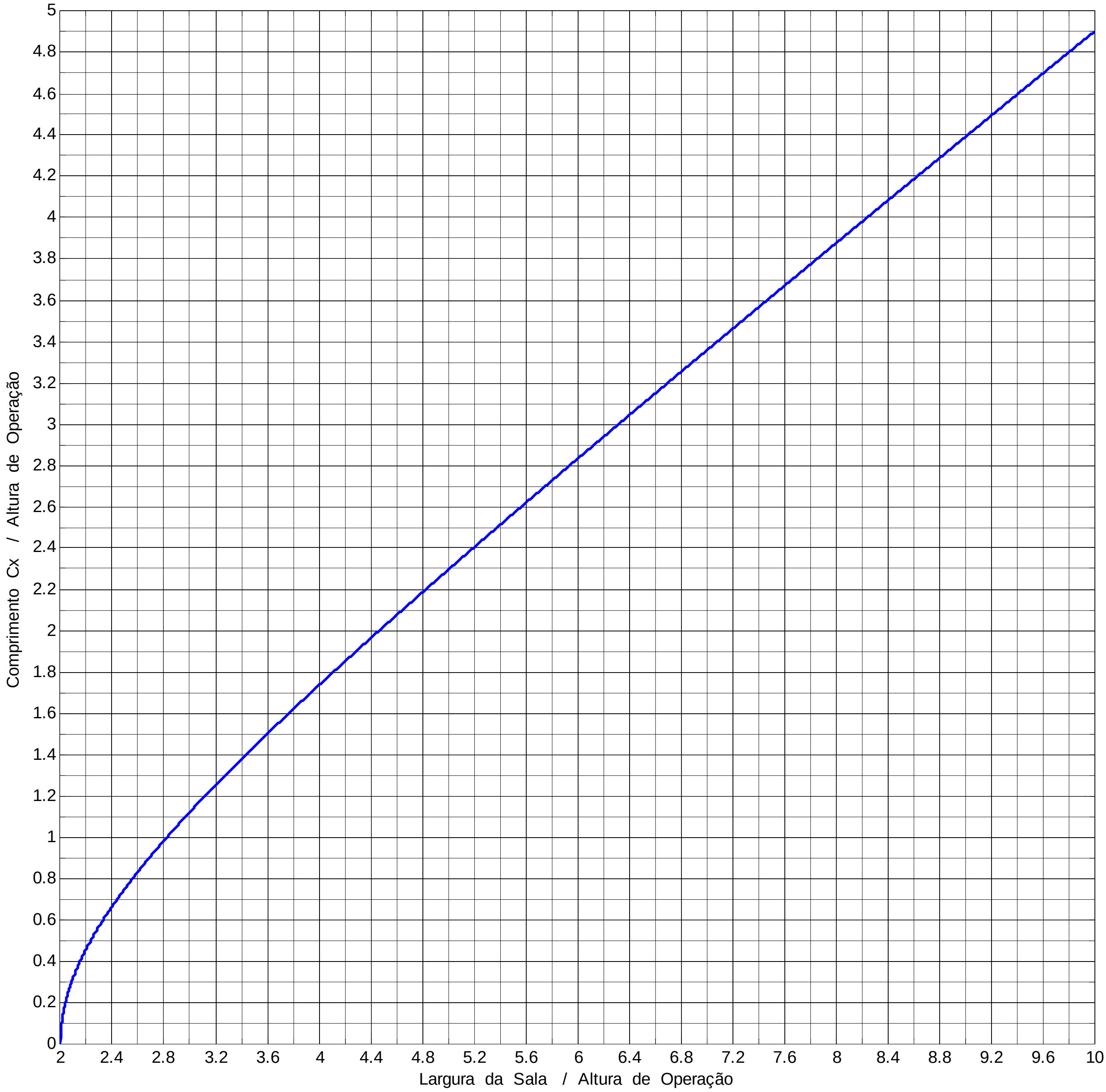


Fig. 9 - Gráfico para a obtenção de Cx, com as variáveis normalizadas em relação à altura de operação (A).

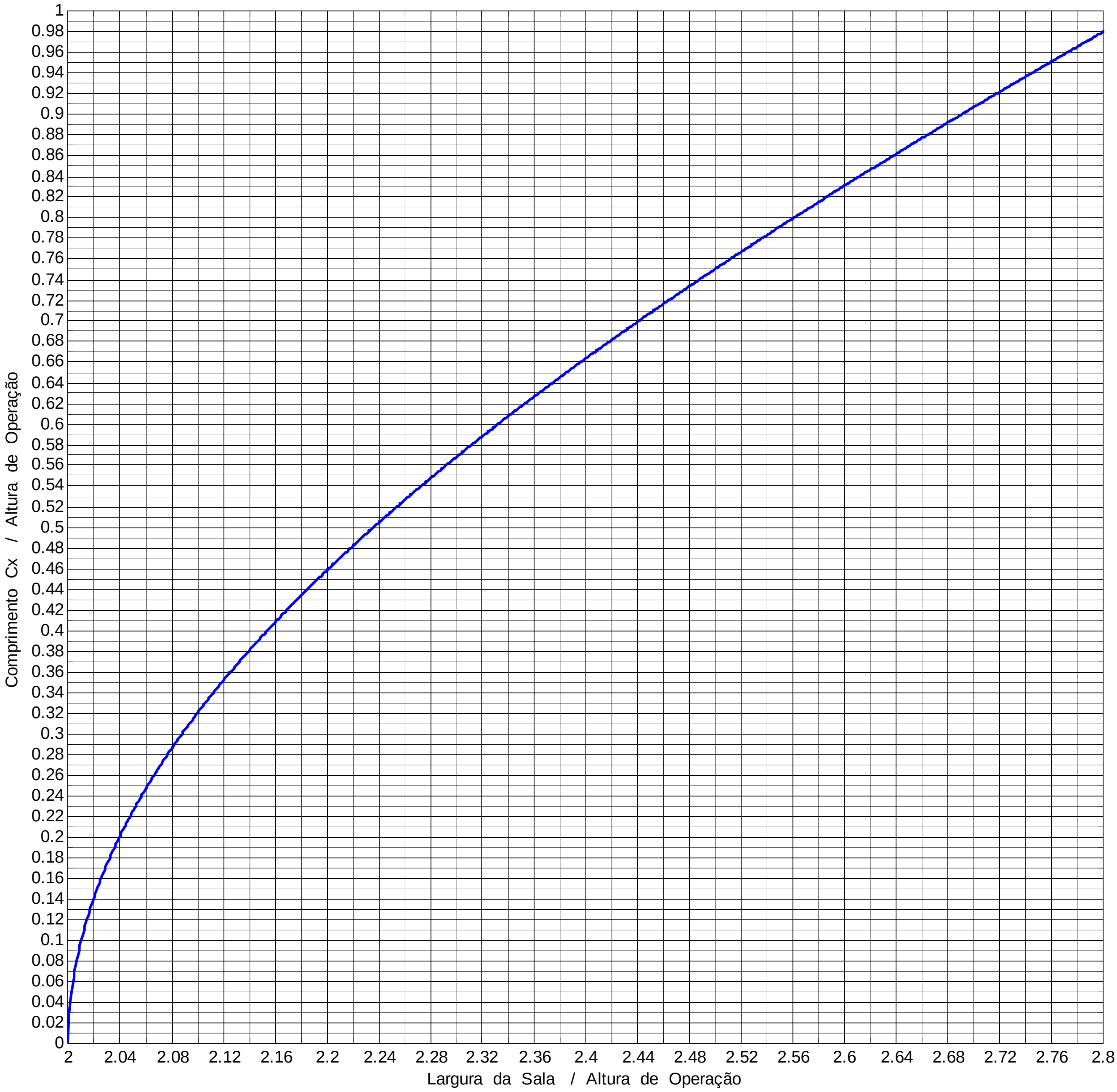


Fig. 10 - Gráfico expandido para a obtenção de Cx, com as variáveis normalizadas em relação à altura de operação (A).