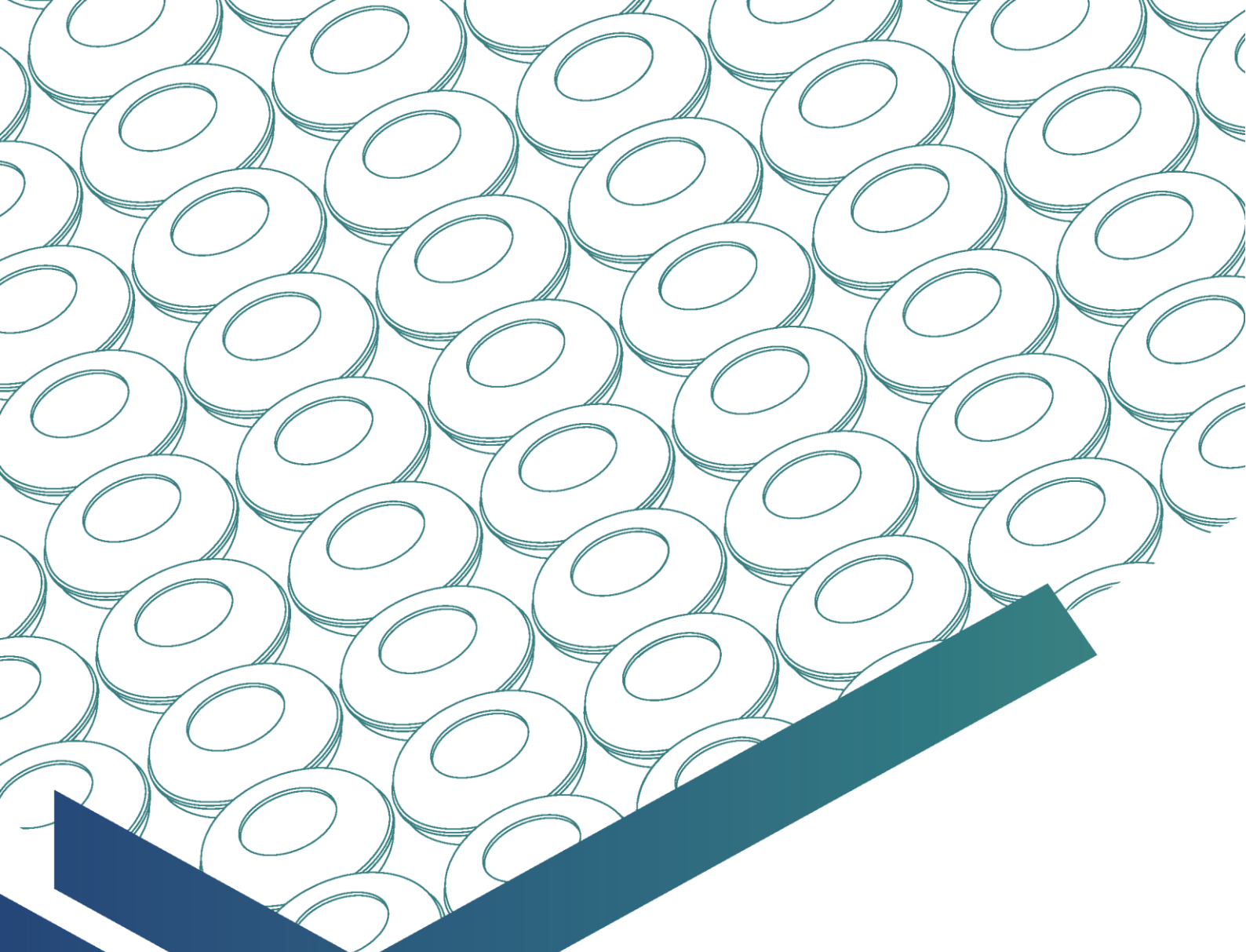




cobiax cbx^{FERCA}

MANUAL
TÉCNICO





cobiax cbx^{FERCA}





Manual Técnico – Sistema COBIAX CBX

Índice

INTRODUÇÃO AO SISTEMA COBIAX CBX	4
PORQUÊ UTILIZAR O SISTEMA COBIAX CBX.....	5
LAJE COBIAX CBX VERSUS LAJE MACIÇA.....	5
LAJE COBIAX CBX VERSUS LAJE ALIGEIRADA.....	5
IMPACTO AMBIENTAL	5
ESPECIFICIDADES DO SISTEMA COBIAX CBX.....	6
CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA COBIAX CBX.....	7
PARÂMETROS PRINCIPAIS DAS LAJES COBIAX CBX	8
CONFIGURAÇÃO DA SECÇÃO DA LAJE	9
CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS DO SISTEMA COBIAX CBX.....	10
RESISTÊNCIA À FLEXÃO.....	10
RIGIDEZ.....	10
CORTE.....	11
PUNÇOAMENTO	14
JUNTA FRIA.....	16
ARMADURAS MÍNIMAS.....	16
ESFORÇOS HORIZONTAIS.....	17
PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO.....	19
INSONORIZAÇÃO.....	24
ISOLAMENTO TÉRMICO	24
CONTROLO TÉRMICO	25
PRÉ-ESFORÇO.....	26
ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS	26
SUSTENTABILIDADE.....	27
CASO DE ESTUDO.....	27
PROCESSO DE CÁLCULO DE UMA LAJE COBIAX CBX.....	29
PASSO 1 - PRESSUPOSTOS, DADOS INICIAIS E PARÂMETROS COBIAX CBX.....	29
PASSO 2 - PADRÃO DE CARGA PERMANENTE ADICIONAL.....	30
PASSO 3 - ALTERAÇÃO DA INÉRCIA DA LAJE.....	30
PASSO 4 - CRITÉRIO DE RESISTÊNCIA AO CORTE E IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA MACIÇA.....	31
PASSO 5 - REFINAMENTO DO CASO DE REDUÇÃO DE CARGA.....	32
PASSO 6 - VERIFICAÇÃO E PORMENORIZAÇÃO DA SECÇÃO DA LAJE	33
PORMENORIZAÇÃO	34



DESENHOS DE IMPLANTAÇÃO/GEOMETRIA.....	34
INSTALAÇÃO DOS SERVIÇOS TÉCNICOS.....	36
MONTAGEM DE UMA LAJE COBIAX CBX.....	36



INTRODUÇÃO AO SISTEMA COBIAX CBX

O sistema **COBIAX CBX** assenta em princípios de racionalização económica e ambiental que permitem a execução de lajes aligeiradas bidirecionais de comportamento similar a uma tradicional laje maciça. A introdução de um vazio de forma elipsoidal na zona onde o betão não é essencial em termos do comportamento global da laje permite uma otimização da espessura da laje, a melhoria do seu comportamento e uma eficiência acrescida na utilização dos recursos.

Num universo onde a sustentabilidade dos recursos naturais assume crescente importância a utilização de materiais reciclados para constituição dos vazios e a redução das necessidades de betão permitem que o sistema **COBIAX CBX** promova por si só uma estrutura com menor impacto ambiental e significativa redução da emissão de CO₂ inerente ao processo construtivo.

A tecnologia **COBIAX CBX** é de origem suíça e encontra-se já largamente difundida nos mercados da Europa central onde encontra aplicação desde 2004, resultando de um trabalho de investigação posteriormente sujeito a um rigoroso programa de testes e ensaios obteve a “National Technical Approval” por parte do Instituto Alemão para a Construção (DIBt) e encontra-se patenteada internacionalmente.

Prémio atribuído pelo Swiss Federal Office for the Environment à **COBIAX CBX Technologies AG** na área da inovação técnica na área ambiental



A tecnologia de laje **COBIAX CBX** detém o número de registo de “National Technical Approval” Z-15.1-307, emitido pelo Instituto Alemão de Tecnologia da Construção (DIBt)

Deutsches
Institut
für
Bautechnik



A tecnologia de laje **COBIAX CBX** detém de uma declaração ambiental do produto





PORQUÊ UTILIZAR O SISTEMA COBIAX CBX

O sistema **COBIAX CBX** apresenta-se como uma solução que reúne as vantagens de uma laje aligeirada e de uma laje maciça ao permitir a redução de consumos e as economias provenientes do aligeiramento mantendo ainda assim praticamente inalteradas as características e o comportamento da laje face a uma laje maciça.

LAJE COBIAX CBX VERSUS LAJE MACIÇA

Por comparação com uma laje maciça e resultando da aplicação do sistema uma laje **COBIAX CBX** apresenta uma redução de peso próprio na zona aligeirada até 32% e uma redução na inércia da laje de apenas 7 a 12%, o que resulta naturalmente numa melhoria do comportamento da mesma em termos de deformabilidade, redução dos níveis de armadura necessária e na significativa redução de efeitos de retração para além da consequente redução de massa com impacto ao nível do comportamento sísmico, elementos verticais e fundações.

Em simultâneo a laje **COBIAX CBX** permite manter as vantagens de um processo mais célere análogo à execução de uma laje maciça mantendo igualmente as características relativas à resistência ao fogo, comportamento térmico e acústico.

LAJE COBIAX CBX VERSUS LAJE ALIGEIRADA

As lajes aligeiradas convencionais recorrem genericamente a um sistema de nervuras bidirecionais que conferem uma redução significativa do peso próprio da laje face à necessária laje maciça para a mesma envolvente, contudo a redução de inércia destas lajes fruto do funcionamento por intermédio de uma secção em “T” é da ordem dos 2/3 originando lajes de maior espessura e processos construtivos mais complexos, lentos e onerosos.

Em comparação direta a laje **COBIAX CBX** permite a redução de espessuras, a melhoria do comportamento, o aspeto final de uma laje maciça e a execução segundo processos mais simples e céleres.

IMPACTO AMBIENTAL

Sendo as formas dos vazios constituídas em 100% por material reciclado e promovendo em simultâneo a redução do consumo de betão, o sistema **COBIAX CBX** contribui assim ativamente para uma melhor utilização dos recursos naturais e uma redução das emissões de CO₂ inerentes ao processo construtivo.

Em suma o sistema **COBIAX CBX** apresenta-se como uma alternativa aos sistemas convencionais com vantagens que devem ser devidamente ponderadas consoante as condições específicas de cada laje, relevando o impacto na solução global do edifício do ponto de vista técnico e económico.



ESPECIFICIDADES DO SISTEMA COBIAX CBX

As lajes **COBIAX CBX** apresentam no essencial três características que as distinguem das lajes maciças que devem ser consideradas no processo de cálculo e pormenorização.

Peso Próprio reduzido devido à presença dos vazios, resultando esforços menores na laje e nos elementos verticais. Na zona aligeirada a redução pode atingir os 32%.

Inércia da laje minorada em cerca de 7 A 12%, devido à presença dos vazios, facto que é largamente compensado pela redução de peso em termos do comportamento da laje.

Resistência ao corte reduzida da zona aligeirada devido à presença dos vazios. Esta redução traduz-se em valores de 50 a 45% do esforço de corte da correspondente laje maciça, dependendo da espessura do **COBIAX CBX**.

Considerando estes três aspetos na conceção estrutural da solução, a laje **COBIAX CBX** deverá respeitar os demais critérios e pormenorização de uma laje maciça com inclusão de zonas não aligeiradas onde o esforço transversal na exceda os níveis admitidos anteriormente.

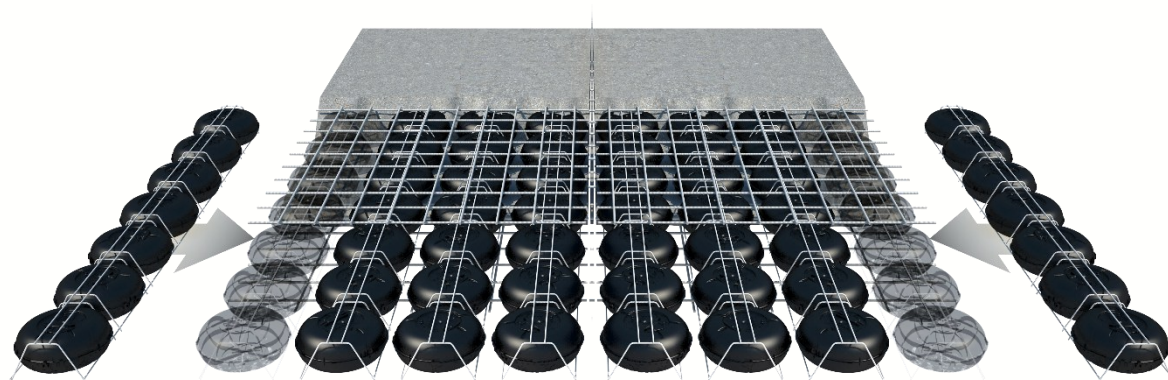


Figura 1- Laje COBIAX CBX



CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA COBIAX CBX

A gama de soluções **COBIAX CBX** é composta genericamente por uma linha designada de **Slim-Line** em que os vazios são compostos por formas elipsoidais com diferentes alturas e destinando-se a diferentes espessuras de lajes.

Os módulos de compartimento **Slim-Line** da **COBIAX CBX**, designados **S-xxx** em que xxx identifica a altura do vazio em mm.

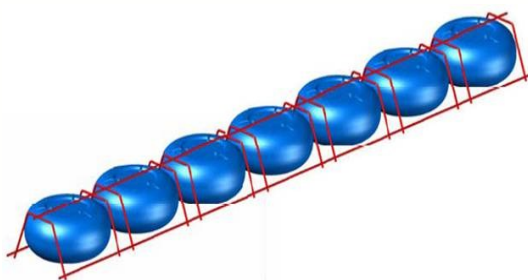


Figura 2- Grelha COBIAX CBX

Composto por vazios de altura variável entre 100mm e 260mm para lajes com espessuras de 200mm a 400 mm

$$H = 0.20m \text{ a } 0.40m$$

Em qualquer dos casos o sistema é composto pelas formas do vazio e pelas grelhas que as contém e que servem em simultâneo de suporte às armaduras superiores da laje, estas grelhas terão cerca de 2,50m incorporando um número variável de vazios.





PARÂMETROS PRINCIPAIS DAS LAJES COBIAX CBX

A tabela seguinte incorpora todos os dados necessários à correta incorporação das lajes COBIAX CBX para efeitos de cálculo, pormenorização e contabilização.

cobiax cbx FERCA		200	225	250	275	300	325	350	375	400
		S-100	S-120	S-140	S-160	S-180	S-200	S-220	S-240	S-260
Redução de Carga	[kN/m ²]	-1.40	-1.64	-1.88	-2.10	-2.32	-2.56	-2.80	-3.10	-3.37
Fator de Correção da Inércia	[-]	0.93	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91	0.89	0.88
Fator de Redução ao Corte	[-]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45
Altura do Suporte (A)	[mm]	110	130	150	170	190	210	230	250	270
Altura do Vazio (B)	[mm]	100	120	140	160	180	200	220	240	260
Nº de Vazios	[un/m ²]	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16
Volume do Vazio	[m ³ /m ²]	0.056	0.066	0.075	0.084	0.093	0.102	0.112	0.124	0.135
Redução de CO ₂	[ton/m ²]	0.012	0.014	0.016	0.018	0.020	0.022	0.023	0.026	0.028
Afast. entre Vazios (C)	[mm]	350	350	350	350	350	350	350	350	350

Tabela 1 – Parâmetro principais para cálculo e quantificação do sistema COBIAX CBX.

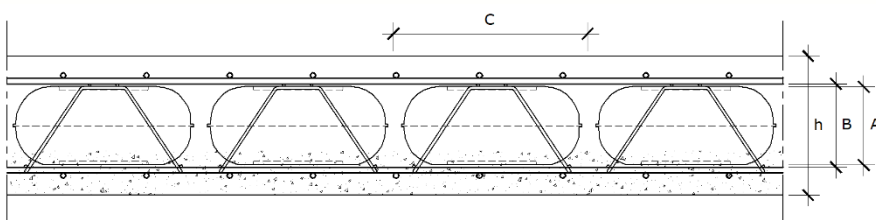


Figura 3 – Secção tipo de uma laje COBIAX CBX



CONFIGURAÇÃO DA SECÇÃO DA LAJE

O sistema **COBIAX CBX** inclui a grelha de suporte onde se encontram as formas dos vazios e que deverá ser colocada diretamente sobre a armadura inferior servindo em simultâneo de apoio à armadura superior, a ordem de montagem das armaduras e dos suportes **COBIAX CBX** deverá, pois, ter em atenção que a primeira camada de armadura será sempre paralela a estes.

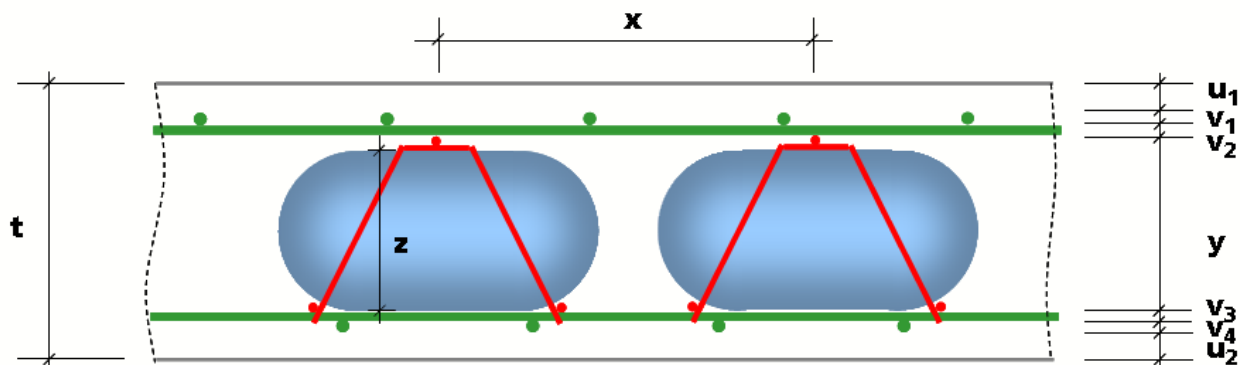


Figura 4 - Secção tipo Slim-Line

z: altura do vazio **COBIAX CBX**;

y: altura do suporte;

x: afastamento entre vazios;

v₁, v₂, v₃ e v₄: diâmetro das armaduras;

u₁ e u₂: recobrimento superior e inferior;

Uma verificação importante a realizar durante o processo de pormenorização e detalhe da laje **COBIAX CBX** refere-se à composição e espessura final da mesma, considerando os recobrimentos definidos, o diâmetro dos varões seleccionados e a dimensão do vazio **COBIAX CBX** em função da espessura definida no cálculo (h).

$$t = u_1 + u_2 + v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + y + \text{tolerância de construção de 5-10 mm} < h$$

CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS DO SISTEMA COBIAX CBX

No presente capítulo descrevem-se as características técnicas associados ao sistema **COBIAX CBX** e as suas condicionantes em projeto.

RESISTÊNCIA À FLEXÃO

O comportamento à flexão das lajes **COBIAX CBX** foi alvo de investigação e testes laboratoriais para as várias espessuras e configurações de lajes possíveis tendo-se comprovado que o seu desempenho é em situações correntes idêntico ao de uma laje maciça.

Na prática o nível de esforços de uma laje é limitado por critérios de deformabilidade e do nível de tensões nos vários códigos e regulamentos que originam posições da linha neutra acima do vazio **COBIAX CBX**, algures na lâmina de compressão criada entre este e o limite da laje.

Desta forma uma laje **COBIAX CBX** pode ser concebida e dimensionada tal como uma laje maciça de igual espessura após obtenção dos respetivos esforços segundo o processo já anteriormente identificado, pelo que o momento resistente de uma laje **COBIAX CBX** é idêntico ao de uma laje maciça de igual espessura.

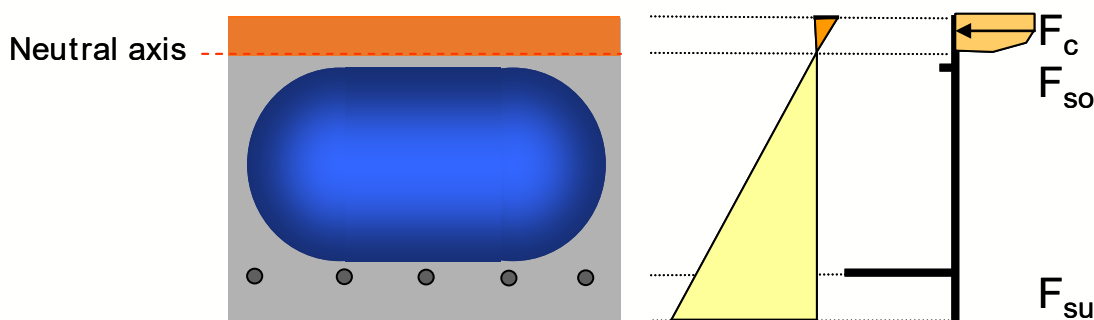


Figura 5 – Posição da linha neutra acima do vazio na lâmina de compressão.

Em casos específicos com cargas elevadas deve-se determinar a posição da linha neutra, no entanto a prática demonstra que os critérios de deformabilidade e as limitações à quantidade de armadura impedem que ocorra um posicionamento da linha neutra fora da lâmina de compressão.

RIGIDEZ

Uma das características deste sistema é a redução da inércia da secção comparativamente a uma laje maciça de igual espessura, que resulta da diminuição da secção provocada pela introdução do vazio.

A introdução do sistema **COBIAX CBX** nas lajes reduz conforme referido anteriormente a inércia da laje em níveis que variam entre os 7 e os 12% por comparação com as lajes maciças de igual espessura, o que se expressa pelo respetivo fator de correção indicado na Tabela 2 para determinadas configurações.

Os fatores de correção da rigidez representam os rácios do cálculo tridimensional do momento de inércia (I_{CB}) para as lajes **COBIAX CBX** (tendo em conta os vazios e assumindo o seu posicionamento) e o momento de inércia de uma laje maciça (I), baseando o cálculo dos valores em secção não fendilhadas. A tabela abaixo proporciona os fatores de correção de inércia de (I_{CB} / I) para diferentes configurações de vazios **COBIAX CBX** e espessuras de lajes para além dos indicados anteriormente na Tabela 2.



COBIAX CBX		S-100	
Espessura de laje [cm]	20	21	22
I_{CB} / I	0.93	0.94	0.95
COBIAX CBX		S-120	
Espessura de laje [cm]	23	24	25
I_{CB} / I	0.93	0.94	0.94
COBIAX CBX		S-140	
Espessura de laje [cm]	25	26	27
I_{CB} / I	0.92	0.93	0.94
COBIAX CBX		S-160	
Espessura de laje [cm]	28	29	30
I_{CB} / I	0.92	0.92	0.93
COBIAX CBX		S-180	
Espessura de laje [cm]	30	31	32
I_{CB} / I	0.91	0.92	0.93
COBIAX CBX		S-200	
Espessura de laje [cm]	32	33	34
I_{CB} / I	0.91	0.91	0.92
COBIAX CBX		S-220	
Espessura de laje [cm]	35	36	37
I_{CB} / I	0.91	0.92	0.92
COBIAX CBX		S-240	
Espessura de laje [cm]	38	39	40
I_{CB} / I	0.89	0.90	0.90
COBIAX CBX		S-260	
Espessura de laje [cm]	40	41	42
I_{CB} / I	0.88	0.89	0.90

Tabela 2- Fatores de correção de rigidez do sistema COBIAX CBX.

CORTE

ABORDAGEM TEÓRICA SOBRE A FORÇA DE CORTE

O cálculo da força de corte para as lajes aligeiradas tradicionais deve basear-se na largura mais pequena disponível da secção, ora utilizando este critério nas lajes **COBIAX CBX** resultaria uma força de corte de cerca de 10% da força de corte de uma laje maciça com igual espessura. No entanto, para a laje **COBIAX CBX**, a largura mais pequena de uma secção só está presente num único ponto, ou seja, diretamente entre dois vazios uma vez que mesmo a pequenas distâncias de afastamento deste ponto nas três direções a largura de secção disponível aumenta rapidamente.

Os testes realizados em laboratório demonstraram uma resistência muito superior ao corte para as lajes **COBIAX CBX** em relação ao valor acima mencionado e é com base nesses resultados que se apresenta a abordagem desenvolvida para a determinação da capacidade máxima de corte das lajes que incorporam o sistema **COBIAX CBX**.

Esta abordagem foi aprovada no número de registo Z-15.1-307 de “Aprovação Técnica Nacional”, emitido pelo Instituto Alemão de Tecnologia da Construção (DIBt).

Por regra o conceito de força de corte em elementos de betão não armados para este efeito baseia-se na soma de vários mecanismos de suporte e contribuição:

A resistência ao corte da zona de compressão sem fendas $V_{c,comp}$

Atrito interno dos agregados ao longo da superfície de corte $V_{c,cr}$

Resistência ao corte conferida pelas armaduras de flexão $V_{c,D}$

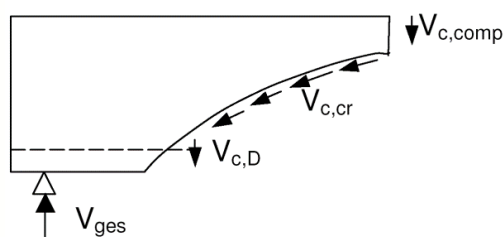


Figura 6 - Esforço Transverso em Laje Maciça

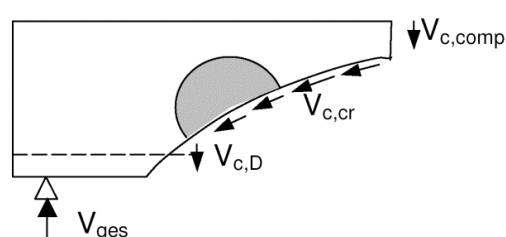


Figura 7 - Esforço Transverso em Laje COBIAx

No caso da laje **COBIAx CBx**, a contribuição do atrito interno dos agregados é reduzida devido à presença dos vazios (ver Figura 3), por conseguinte, a resistência ao corte de uma laje **COBIAx CBx** é efetivamente menor e deve ser considerada em conformidade, a resistência ao corte das zonas de compressão e a contribuição das armaduras de flexão seguem, no entanto inalteradas.

A proporção da contribuição destes três fatores para a resistência global ao corte é desconhecida não sendo consensuais os dados na literatura existente, pelo que se opta por considerar nula a contribuição do atrito interno, $V_{c,cr} = 0$, e em consequência, a área de betão de contribuição efetiva na secção relevante (ver figuras na página seguinte) será considerada em vez da largura mais pequena disponível da secção.

A secção relevante não está posicionada verticalmente, mas de acordo com uma inclinação no intervalo de 30° a 45° que é o intervalo habitual das superfícies de corte.

Uma análise geométrica permite, pois, concluir que o valor de dimensionamento da força máxima admissível de corte para uma laje **COBIAx CBx** encontra-se seguramente acima dos 50% para os **COBIAx CBx**.

Com estes fatores de redução, a força máxima de corte permitida V_c para a laje **COBIAx CBx** pode ser calculada de acordo com as seguintes fórmulas.

Slim-Line S-100 ao S-180: $V_{c,COBIAx CBx} = 0,50 \times V_c$

Slim-Line S-200 ao S-260: $V_{c,COBIAx CBx} = 0,45 \times V_c$

Por conseguinte, as áreas numa laje **COBIAx CBx** para as quais $V_{c,COBIAx CBx}$ é ultrapassado devido à elevada concentração de esforços transversos devem ser executadas sem incorporação de vazios tornando-se áreas maciças com a secção integral de betão.

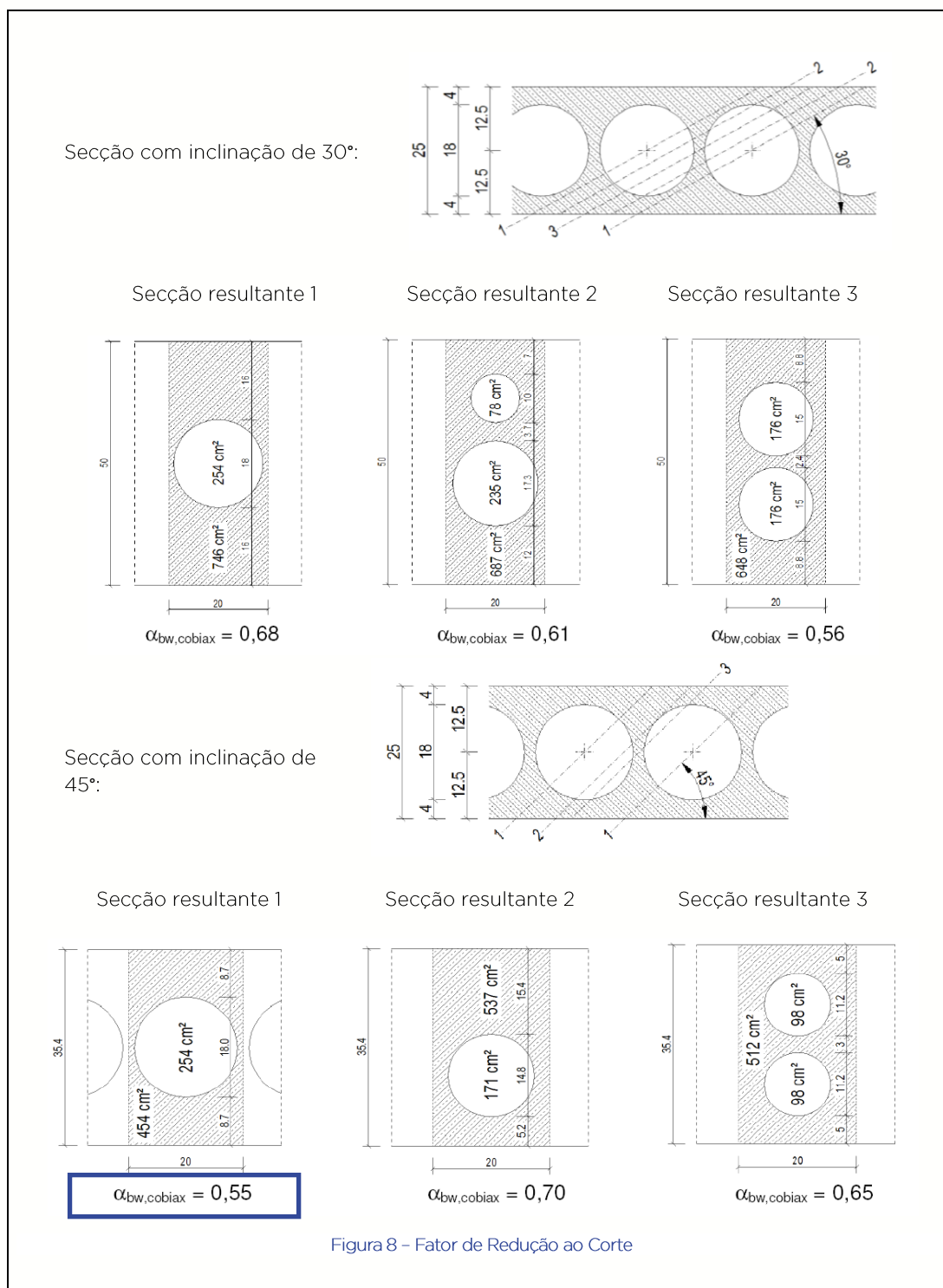
Os valores acima mencionados foram confirmados empiricamente por uma série de testes de laboratório para uma vasta combinação de configurações e solicitações.

Nas considerações anteriores e nos ensaios realizados não se consideraram os varões da grelha de posicionamento que atuam naturalmente como um reforço ao corte em toda a laje, no entanto pôde-se constatar posteriormente em novos ensaios que no caso do **COBIAx CBx** esta contribuição permite um incremento da resistência ao corte ate 66%, contudo estes dados não são considerados nos pressupostos do dimensionamento de uma laje **COBIAx**



CBX conforme descrito nos capítulos anteriores, funcionando assim como uma garantia adicional da segurança das lajes COBIAx CBX.

ANÁLISE GEOMÉTRICA DO FACTOR DE REDUÇÃO AO CORTE





PUNÇOAMENTO

Devido às limitações em termos de esforços de transversos, as áreas com elevada concentração de forças de corte, como por exemplo, à volta dos pilares em lajes fungiformes, devem ser executadas sem incorporação de vazios **COBIAX CBX**, devendo o perímetro crítico de punçoamento encontrar-se na zona maciça da laje.

As considerações sobre corte e punçoamento nestas zonas são idênticas às levadas em conta para as correntes lajes maciças, recomendando-se verificar categoricamente que o perímetro de determinação para o punçoamento está situado dentro da zona maciça, conforme apresentado no desenho abaixo.

Refira-se ainda que a redução de peso próprio inerente à aplicação do sistema **COBIAX CBX** reduz efetivamente as condicionantes relacionadas com os esforços de punçoamento permitindo a redução das armaduras específicas para este efeito.

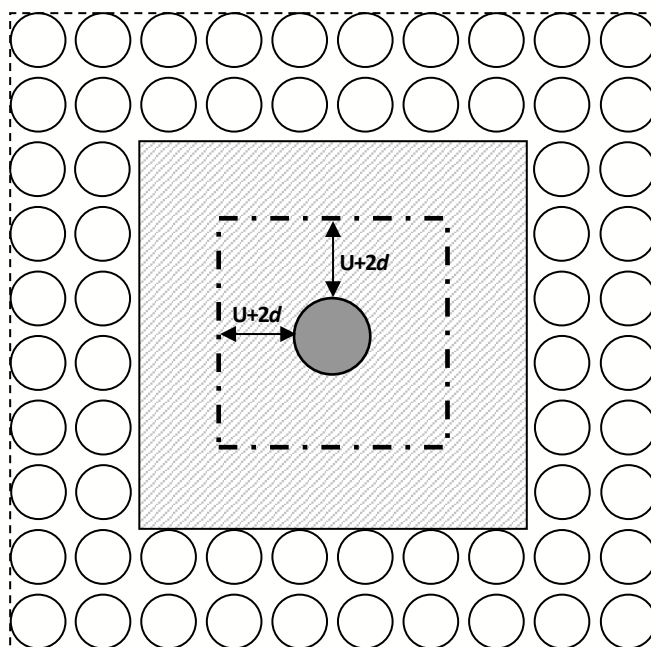


Figura 9 – Perímetro de Controlo

Para cargas concentradas, pode ser exigida a verificação pontual de punçoamento que pode inclusive ocorrer sobre a cúpula do vazio. Testes realizados para análise deste tipo de solicitação demonstram que para cargas concentradas com implantação de 5 x 5 cm, 7,5 x 7,5 cm, 10 x 10 cm e diferentes recobrimentos de betão sobre o vazio, tem-se uma carga de rotura máxima respetiva apresentada na Tabela 3, consoante a classe de betão utilizada.

Realce para o facto de estes testes terem considerado como valor limite de 75 kN. Para cargas concentradas superiores recomenda-se deixar a laje localmente maciça.



Carga de rotura [kN]				
Área de implantação, a_{load}		5 x 5 cm	7,5 x 7,5 cm	10 x 10 cm
Recobrimento [cm]		5	8	10
Módulo COBIAX CBX	Classe de betão			
S-100	C25/30	23.6	55.9	75.0
	C30/37	26.6	63.1	75.0
	C35/45	29.5	69.9	75.0
S-120	C25/30	24.5	58.8	75.0
	C30/37	27.7	66.4	75.0
	C35/45	30.7	73.6	75.0
S-140	C25/30	25.8	52.5	75.0
	C30/37	29.1	70.2	75.0
	C35/45	32.3	75.0	75.0
S-160	C25/30	27.4	66.0	75.0
	C30/37	30.9	74.5	75.0
	C35/45	34.3	75.0	75.0
S-180	C25/30	29.3	70.2	75.0
	C30/37	33.1	75.0	75.0
	C35/45	36.7	75.0	75.0
S-200	C25/30	31.6	75.0	75.0
	C30/37	35.7	75.0	75.0
	C35/45	39.6	75.0	75.0
S-220	C25/30	34.3	75.0	75.0
	C30/37	38.8	75.0	75.0
	C35/45	42.9	75.0	75.0

Tabela 3- Carga de rotura para cargas concentradas.

JUNTA FRIA

Com a betonagem em duas fases de uma laje **COBIAX CBX**, cria-se uma junta horizontal e se o intervalo de tempo entre as duas fases de betonagem for suficiente para que a primeira camada tenha curado integralmente a betonagem da segunda camada deve ser considerada como uma junta fria de betonagem, no entanto as armaduras das grelhas **COBIAX CBX** que se encontram na laje funcionam como ancoragem e conferem suficiente armadura ao corte para a verificação da junta.

A primeira fase de betonagem deve garantir uma zona de integração, no mínimo, com 20 mm.

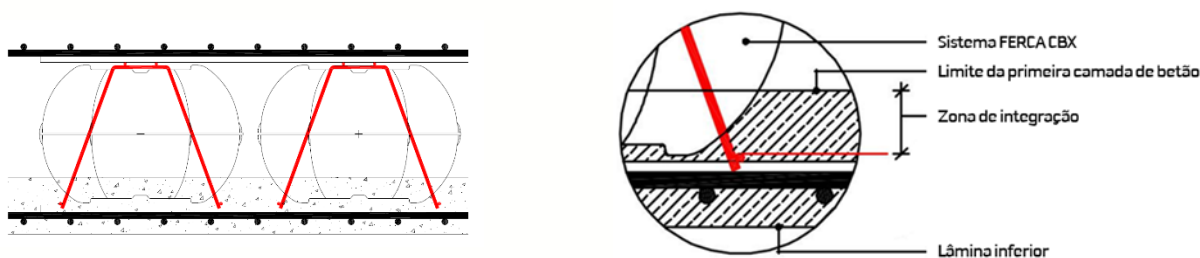


Figura 10 – Junta Fria

ARMADURAS MÍNIMAS

A limitação da fendilhação é realizada de acordo com as normas e regulamentos atuais. De forma a simplificar o procedimento, pode ser utilizada a secção transversal completa para as verificações necessárias. Apenas para a determinação da armadura mínima no controlo da fendilhação, deve-se ter em conta a secção transversal estrutural com o vazio, para uma consideração mais rigorosa e exata. Podendo neste caso recorrer a uma espessura de laje equivalente para o cálculo.

A espessura equivalente é dada pela seguinte expressão:

$$h_{d,eq} = h_d - h_{CBX}$$

Sendo h_d , a espessura de laje e h_{CBX} , o volume correspondente ao tipo vazio **COBIAX CBX** considerado.

O incremento de capacidade devido à existência de zonas maciças numa percentagem da laje, deve ser tido em conta na determinação da armadura mínima.

Áreas da secção de betão									
Espessura de laje (m)	0,200	0,225	0,250	0,275	0,300	0,325	0,350	0,375	0,400
COBIAX CBX	100	120	140	160	180	200	220	240	260
$A_{vazio} (m^2)$	0,0302	0,0357	0,0412	0,0463	0,0514	0,0568	0,0622	0,0675	0,0728
$A_{betão} (m^2/ml)$	0,1137	0,1230	0,1323	0,1427	0,1531	0,1627	0,1723	0,1821	0,1920

Tabela 4– Áreas da secção de betão.



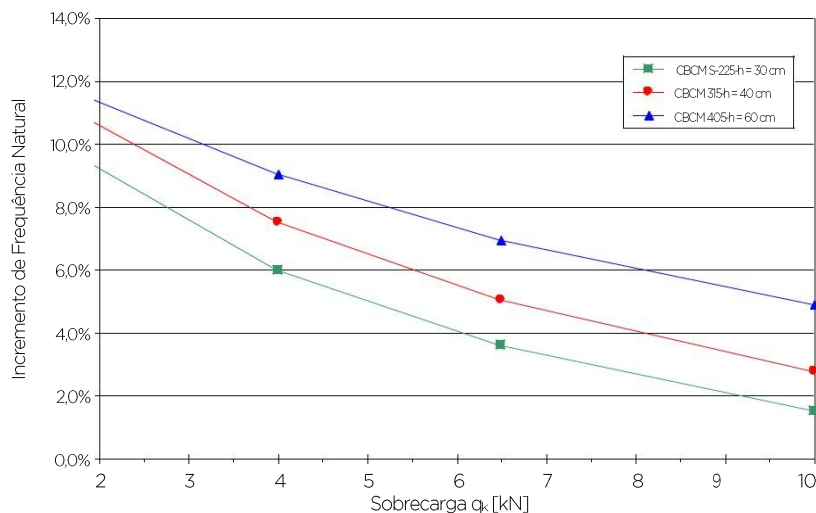
ESFORÇOS HORIZONTAIS

As propriedades dinâmicas de uma construção e do seu comportamento face a um sismo ou outro tipo de cargas horizontais devem ser avaliadas individualmente projeto a projeto com os métodos de verificação recomendados pelos códigos respetivos, no entanto é conhecida a importância que a massa do edifício e em particular das laje tem nomeadamente amplificando os efeitos deste tipo de ações, pelo que a redução de carga permanente provida pela presença dos vazios no interior da laje tem um efeito benéfico sobre o comportamento das estruturas.

Para certos requisitos de uso de uma estrutura, o comportamento modal da estrutura torna-se relevante e importante.

Numa extensa investigação teórica, a frequência natural de uma laje aligeirada **COBIAx CBx** apresenta um comportamento modal superior em comparação a uma laje maciça da mesma espessura, podendo apresentar uma frequência natural até 12% superior a uma laje maciça convencional.

Demonstrando que uma laje **COBIAx CBx** tem um desempenho superior aos modos de vibração, uma vez que têm frequências naturais mais elevadas para as cargas comuns.



[Fonte: Wolski, L.; Natural frequency of Cobiax flat slabs, Hochschule Bochum, 2006]

Neste gráfico, mostra o incremento de frequência natural comparativamente a uma laje maciça de igual espessura, consoante a sobrecarga atuante na laje. À medida que a sobrecarga aumenta, o desempenho da laje aligeirada vai-se aproximando do comportamento de uma laje maciça.



Relativamente à condução de esforços normais no plano da laje, a laje **COBIAx CBx** apesar da presença dos vazios continua a funcionar como uma placa rígida com capacidade de transferir as cargas horizontais devidas ao vento, à inclinação da construção, aos terremotos e às variações da temperatura para os apoios.

No seu dimensionamento, as lâminas de betão superior e inferior da laje **COBIAx CBx** podem ser consideradas como secções retangulares equivalentes de forma a simplificar e dimensionadas para as forças axiais. Para forças elevadas, caso de lajes pós-esforçadas que excedam a capacidade da secção equivalente, recomenda-se a consideração de bandas maciças nestes alinhamentos.

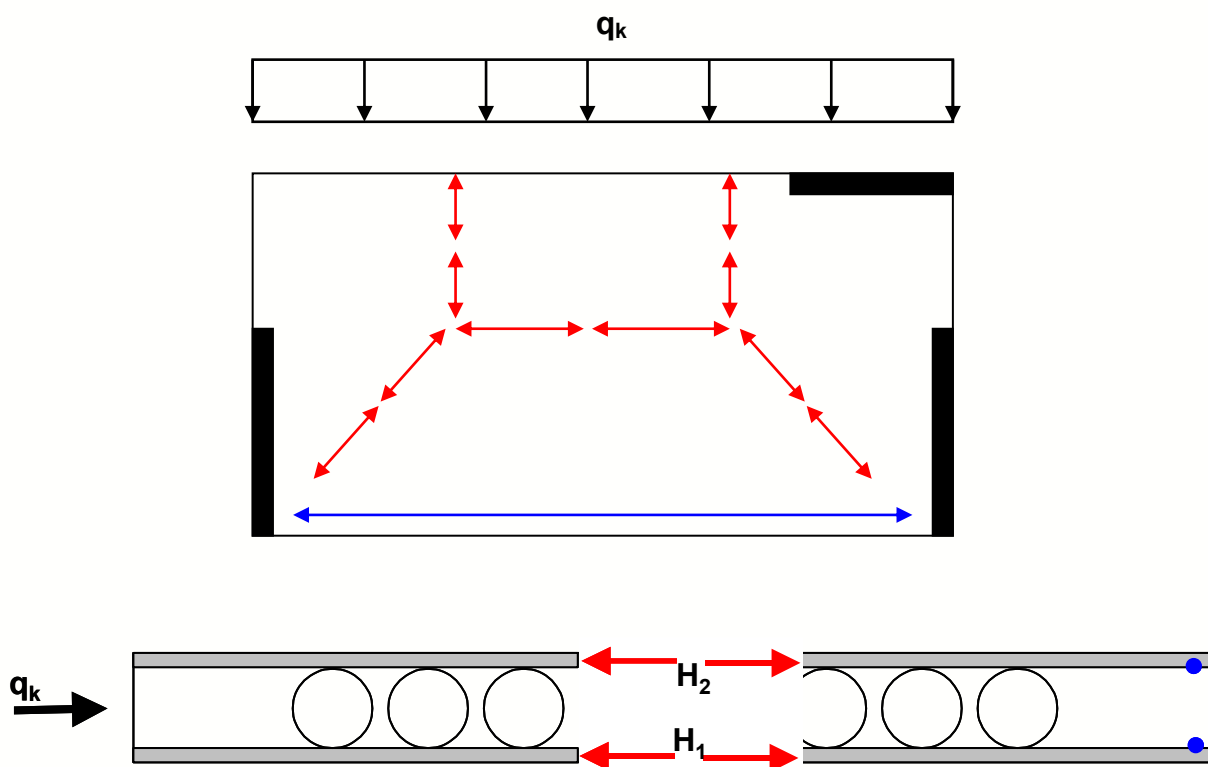


Figura 11 – Efeito de Diafragma



PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO

Independentemente do código ou regulamento utilizado, o parâmetro relevante para os critérios de dimensionamento que orientam a classificação de resistência ao fogo de lajes em betão é o recobrimento de betão entre a superfície exposta da laje e a primeira camada de armadura.

Testes de resistência ao fogo em laboratórios especializados com amostras de laje demonstraram que o parâmetro e o critério utilizado para lajes maciças devem ser utilizados sem qualquer tipo de limitação para as lajes **COBIAX CBX** e que estas podem resistir ao fogo da mesma forma que as lajes maciças.

Saliente-se que a propagação de calor registada durante os testes de resistência ao fogo das amostras de laje **COBIAX CBX** são idênticas às registadas em lajes maciças, tendo-se ainda registado que os vazios existentes numa laje **COBIAX CBX** têm um efeito de retardamento no processo de desfragmentação da superfície de betão exposta uma vez que os vazios absorvem a concentração de pressão de vapor interna (proveniente da humidade do betão) que ocorre no betão, e que de outra forma pressionaria de imediato o betão no recobrimento da laje, contudo este benefício não é quantificável.

Se forem expostos a fogo direto, os moldes **COBIAX CBX** (feitos de HD-PE ou PP) decompõem-se-iam em H_2O e CO_2 que não são nocivos.

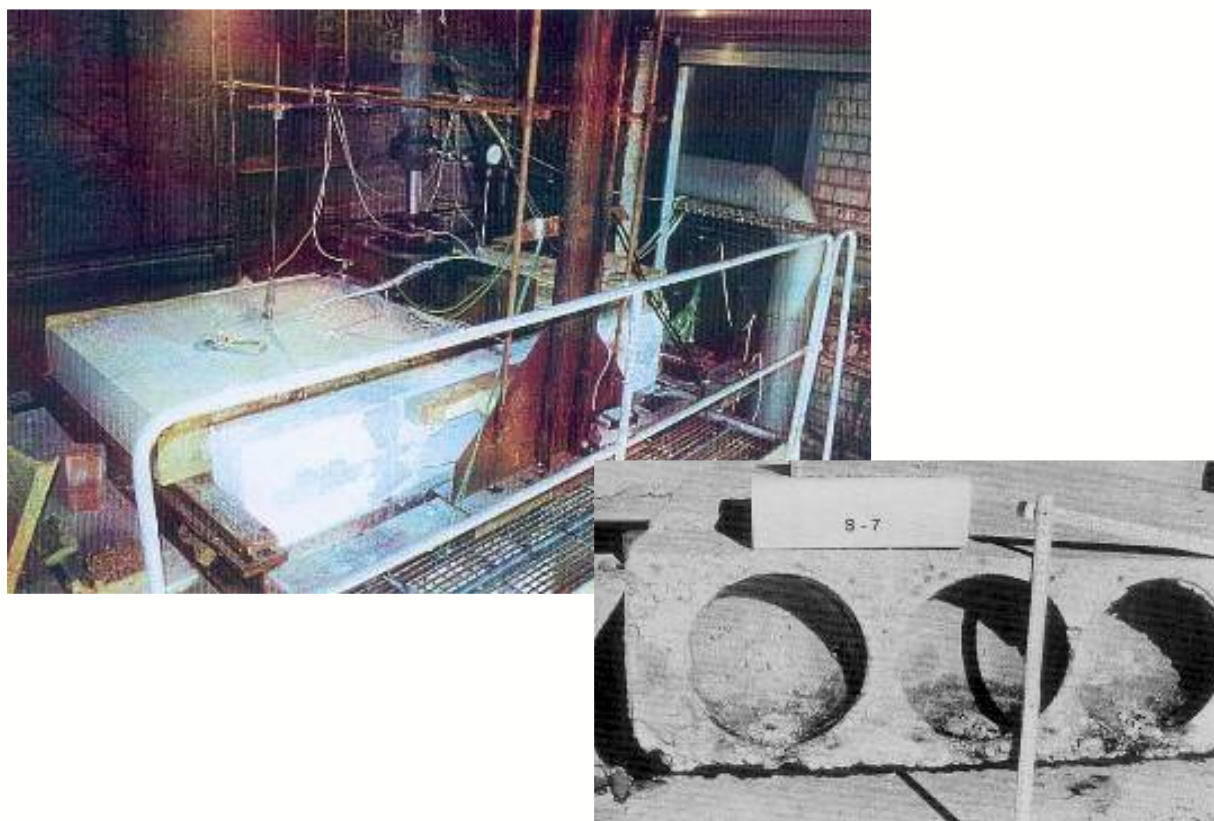


Figura 12 – Ensaio ao Fogo



Durante a análise da laje, é essencial uma adequação das distâncias presentes no sistema **COBIAX CBX**, a distância ao eixo da primeira camada de armadura (a_{HK}) e a dimensão da lâmina da laje ($d_{2,Hk}$). Através de estudos e ensaios, a adequação destes dois valores demonstrou um desempenho da temperatura nas armaduras similar a uma laje maciça.

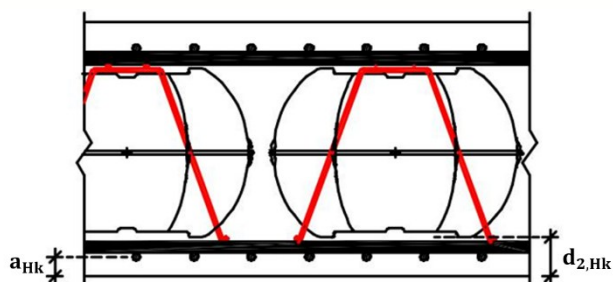


Figura 13 – Alturas para Cálculo da Resistência ao Fogo

Esta abordagem está descrita no Expert Report No. GS 3.2/16-357 (MPA Leipzig GmbH).

Nas tabelas 4, 5 e 6 apresentam-se os valores mínimos de recobrimento para uma dimensão de lâmina do sistema **COBIAX CBX** e a classe de resistência ao fogo pretendida. Consoante a análise da laje em estudo, apresentam-se as tabelas respetivas:

- Tabela 5 – lajes bidirecionais com $l_y/l_x \leq 1,5$
- Tabela 6 – lajes bidirecionais com $1,5 < l_y/l_x \leq 2,0$
- Tabela 7 – Lajes unidirecionais e bidirecionais com $l_y/l_x > 2,0$



		d2,Hk							
		50	55	60	65	70	80	90	100
S-100	R 30	13	12	11	11	11	11	11	11
	R 60	28	20	17	14	13	12	11	11
	R 90	-	43	30	25	22	19	17	16
	R 120	-	-	48	38	32	27	24	23
	R 180	-	-	-	-	-	59	46	40
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	67
S-120	R 30	13	12	11	11	11	11	11	11
	R 60	28	20	17	14	13	12	11	11
	R 90	-	40	30	25	22	19	17	16
	R 120	-	-	47	37	32	27	24	23
	R 180	-	-	-	-	-	58	45	39
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	66
S-140	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	28	20	16	14	13	12	11	11
	R 90	-	41	30	25	22	19	17	16
	R 120	-	-	46	37	32	27	24	22
	R 180	-	-	-	-	-	57	44	39
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	64
S-160	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	28	20	16	14	13	12	11	11
	R 90	-	39	29	25	22	19	17	16
	R 120	-	-	45	36	31	27	24	22
	R 180	-	-	-	-	-	55	44	39
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	62
S-180	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	27	20	16	14	13	12	11	11
	R 90	-	38	29	24	22	19	17	16
	R 120	-	-	43	35	31	26	24	22
	R 180	-	-	-	-	-	53	43	38
	R 240	-	-	-	-	-	-	89	61
S-200	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	26	19	16	14	13	12	11	11
	R 90	-	36	28	24	21	18	17	16
	R 120	-	-	41	34	30	26	24	22
	R 180	-	-	-	-	-	51	42	38
	R 240	-	-	-	-	-	-	78	59
S-220	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	25	19	16	14	13	11	11	11
	R 90	-	35	27	23	21	18	17	16
	R 120	-	-	39	33	30	26	23	22
	R 180	-	-	-	-	-	49	41	37
	R 240	-	-	-	-	-	-	72	57
S-240	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	25	19	16	14	13	11	11	11
	R 90	-	35	27	23	21	18	17	16
	R 120	-	-	39	33	30	26	23	22
	R 180	-	-	-	-	-	49	41	37
	R 240	-	-	-	-	-	-	72	57
S-260	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	25	19	16	14	13	11	11	11
	R 90	-	35	27	23	21	18	17	16
	R 120	-	-	39	33	30	26	23	22
	R 180	-	-	-	-	-	49	41	37
	R 240	-	-	-	-	-	-	72	57

Tabela 5- Recobrimento mínimo de lajes bidirecionais com $l_y/l_x \leq 1,5$.



		d2,Hk							
		50	55	60	65	70	80	90	100
S-100	R 30	13	12	11	11	11	11	11	11
	R 60	33	25	22	19	18	17	16	16
	R 90	-	48	35	30	27	24	22	21
	R 120	-	-	-	-	50	36	31	29
	R 180	-	-	-	-	-	-	71	56
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-120	R 30	13	12	11	11	11	11	11	11
	R 60	33	25	22	19	18	17	16	16
	R 90	-	45	35	30	27	24	22	21
	R 120	-	-	-	-	48	35	31	29
	R 180	-	-	-	-	-	-	69	56
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-140	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	33	25	21	19	18	17	16	16
	R 90	-	46	35	30	27	24	22	21
	R 120	-	-	-	-	47	35	31	28
	R 180	-	-	-	-	-	-	68	55
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-160	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	33	25	21	19	18	17	16	16
	R 90	-	44	34	30	27	24	22	21
	R 120	-	-	-	-	45	35	31	28
	R 180	-	-	-	-	-	-	66	54
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-180	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	32	25	21	19	18	17	16	16
	R 90	-	43	34	29	27	24	22	21
	R 120	-	-	-	-	44	34	31	28
	R 180	-	-	-	-	-	-	64	53
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-200	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	31	24	21	19	18	17	16	16
	R 90	-	41	33	29	26	23	22	21
	R 120	-	-	-	-	42	34	30	28
	R 180	-	-	-	-	-	-	62	52
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	89
S-220	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	30	24	21	19	18	16	16	16
	R 90	-	40	32	28	26	23	22	21
	R 120	-	-	-	-	41	33	30	28
	R 180	-	-	-	-	-	-	60	51
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	83
S-240	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	30	24	21	19	18	16	16	16
	R 90	-	40	32	28	26	23	22	21
	R 120	-	-	-	-	41	33	30	28
	R 180	-	-	-	-	-	-	60	51
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	83
S-260	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	30	24	21	19	18	16	16	16
	R 90	-	40	32	28	26	23	22	21
	R 120	-	-	-	-	41	33	30	28
	R 180	-	-	-	-	-	-	60	51
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	83

Tabela 6- Recobrimento mínimo de lajes bidirecionais $1,5 < l_y/l_x \leq 2,0$.



		d2,Hk							
		50	55	60	65	70	80	90	100
S-100	R 30	13	12	11	11	11	11	11	11
	R 60	38	30	27	24	23	22	21	21
	R 90	-	-	-	63	46	38	34	32
	R 120	-	-	-	-	-	76	53	47
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-120	R 30	13	12	11	11	11	11	11	11
	R 60	38	30	27	24	23	22	21	21
	R 90	-	-	-	61	46	37	34	32
	R 120	-	-	-	-	-	73	53	47
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-140	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	38	30	26	24	23	22	21	21
	R 90	-	-	-	59	45	37	34	32
	R 120	-	-	-	-	-	69	53	47
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-160	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	38	30	26	24	23	22	21	21
	R 90	-	-	-	56	45	37	34	32
	R 120	-	-	-	-	-	68	52	47
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-180	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	37	30	26	24	23	22	21	21
	R 90	-	-	-	54	44	37	34	32
	R 120	-	-	-	-	-	66	51	46
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-200	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	36	29	26	24	23	22	21	21
	R 90	-	-	-	53	44	37	33	32
	R 120	-	-	-	-	-	64	51	46
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-220	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	35	29	26	24	23	21	21	21
	R 90	-	-	-	50	42	36	33	32
	R 120	-	-	-	-	-	61	50	46
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-240	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	35	29	26	24	23	21	21	21
	R 90	-	-	-	50	42	36	33	32
	R 120	-	-	-	-	-	61	50	46
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-260	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	35	29	26	24	23	21	21	21
	R 90	-	-	-	50	42	36	33	32
	R 120	-	-	-	-	-	61	50	46
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 7- Recobrimento mínimo de lajes unidirecionais e bidirecionais com $l_y/l_x > 2,0$.



INSONORIZAÇÃO

Os dois principais parâmetros para a classificação da insonorização das lajes são:

- Isolamento a sons aéreos;
- Isolamento a sons de percussão.

Os testes de comportamento acústico realizados em lajes **COBIAX CBX**, tanto com amostras em laboratórios especializados, como em construções completas com o objetivo de calcular seu comportamento acústico e comparar os resultados com o comportamento das lajes maciças permitiram definir um método adequado de classificação do isolamento.

A interpretação das medições realizadas mostra que para a laje **COBIAX CBX**, podem ser utilizados os mesmos métodos de avaliação de insonorização já utilizados para as lajes maciças.

Em ambos os casos, sons de percussão e sons aéreos, o elemento principal para avaliar o grau de insonorização fornecido pelas lajes em betão é a massa média por metro quadrado da área em estudo, existindo diversas publicações que fornecem estes dados em função da espessura e respetiva massa.

Aos valores obtidos a partir destas tabelas são em seguida adicionados os valores de isolamento fornecidos para elementos de enchimento, pavimento e tetos, resultando deste somatório a capacidade de insonorização da laje. Obviamente, a massa média de uma laje **COBIAX CBX** é inferior à de uma laje maciça com a mesma espessura e por conseguinte, a capacidade de isolamento acústico da laje **COBIAX CBX** será menor em proporção da respetiva massa.

A avaliação acústica de edifícios que incorporem lajes **COBIAX CBX** pode, pois, basear-se nos mesmos métodos habitualmente utilizados para construções tradicionais com base na massa média de superfície da laje **COBIAX CBX**.

A título de exemplo refira-se que para uma laje de 20cm (a laje de menor espessura passível de realizar com o sistema **COBIAX CBX**), foram medidos os seguintes valores numa amostra sem revestimentos ou tectos em laboratório:

Insonorização atmosférica: $R_{w,P} = 56$ dB

Nível de som de percussão: $L_{n,eq,0,w,R} = 76$ dB

A massa média desta laje corresponde a uma espessura média de betão de 15 cm.

A avaliação da insonorização de uma laje **COBIAX CBX** pode assim ser feita, recorrendo a uma espessura de laje equivalente.

ISOLAMENTO TÉRMICO

Os vazios criados pelos módulos **COBIAX CBX** influenciam a condutividade térmica da laje. Teoricamente, tem um efeito positivo na transferência de calor através da laje e consequentemente no isolamento térmico da mesma. Contudo, o efeito é insignificante para aplicação prática do sistema, uma vez que apenas 5-10% da melhoria poderia ser alcançada (para uma laje plana sem qualquer isolamento).

A melhoria no isolamento térmico torna-se ainda menor quando observada como uma laje isolada, onde o material de isolamento térmico proporciona a maior parte do desempenho.

CONTROLO TÉRMICO

As lajes **COBIAX CBX** podem ser facilmente combinadas com sistemas de controlo de temperatura do núcleo da estrutura de betão. Estes combinam sistemas de aquecimento e arrefecimento através de um sistema de tubagens que se integra no interior da estrutura.

Com o seguinte estudo é possível observar o efeito que os vazios têm na capacidade de armazenamento de temperatura:

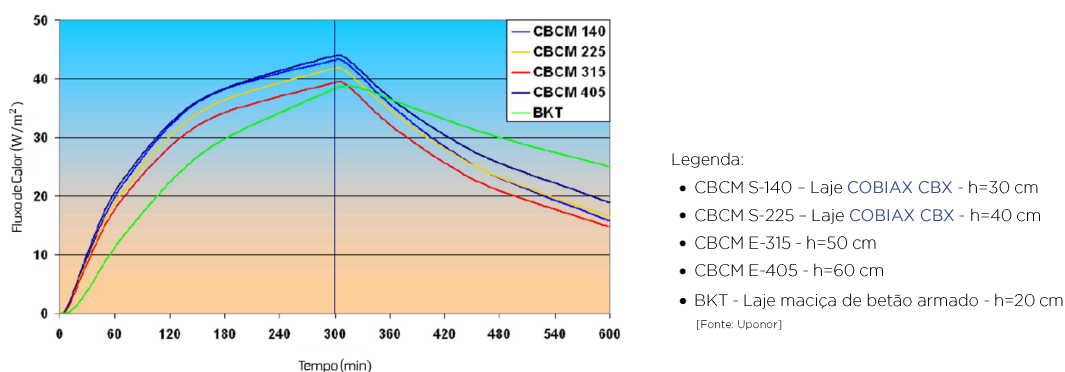


Figura 14 – Capacidade de Armazenamento de Temperatura

Para cada tipo de laje aligeirada, é possível observar a performance de lajes com o sistema **COBIAX CBX** em comparação com lajes maciças convencionais (através de um modelo dinâmico de carga ao longo de um período de 5 horas, com temperatura constante de 26° C do ambiente e uma temperatura média de 18° C.).

Os ensaios e estudos ao longo do tempo, demonstram que para uma regulação seletiva de temperatura, as lajes **COBIAX CBX** demonstram um desempenho melhor e mais eficiente do que uma laje maciça convencional.

O sistema **COBIAX CBX** apresenta uma rápida adaptação a mudanças de temperatura presentes, devido à sua rápida acumulação de energia e dissipação de energia.

Para o melhor desempenho possível da laje **COBIAX CBX**, os tubos são instalados entre a zona de reforço inferior e os vazios **COBIAX CBX**. A lâmina inferior de betão, neste caso, deverá ter aproximadamente 8 cm de espessura. Estas características são suficientes para apresentar um desempenho similar ao de uma laje maciça de betão com este tipo de sistema.

Para proteção dos tubos do sistema é recomendado o uso de uma camada de esteira na zona inferior da laje correspondente à altura dos mesmos.

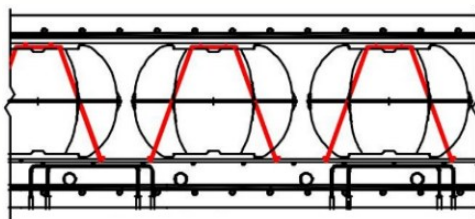


Figura 15 – Cadeiras para elevação

PRÉ-ESFORÇO

A combinação de pré-esforço com uma laje **COBIAX CBX**, é um dos princípios possíveis e quando combinados os dois efeitos, é possível obter fatores positivos em termos económicos e soluções muito eficientes.

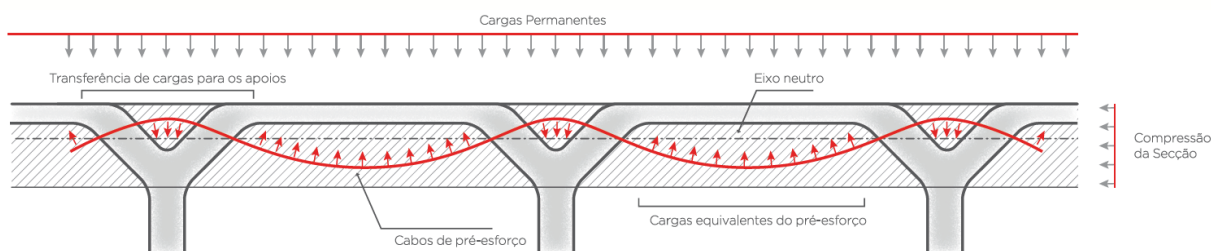


Figura 16 – Cargas Equivalentes

O pré-esforço pelo controlo do peso próprio através das forças equivalentes impostas na laje e a vantagem da redução de peso próprio presente numa laje **COBIAX CBX**, torna esta solução bastante vantajosa quando comparada com soluções mais convencionais.

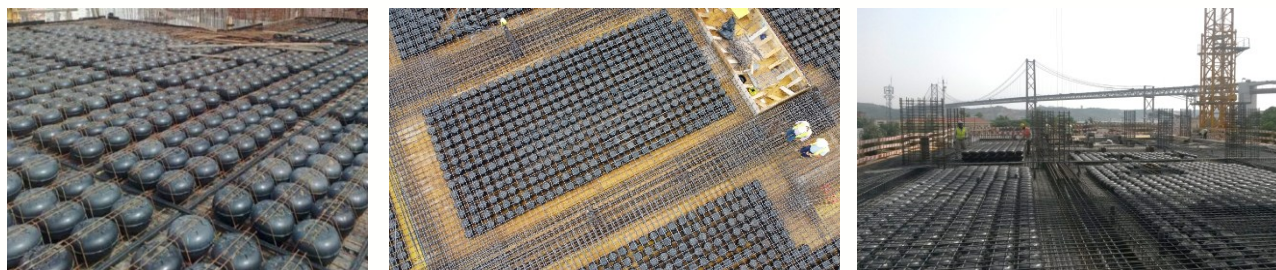


Figura 17 – Lajes COBIAX Pré-Esforçadas

ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS

O uso dos módulos **COBIAX CBX** em elementos pré-fabricados fornece soluções mais leves e económicas. Nestes casos, o fator peso não só oferece vantagens estáticas, mas também vantagens de transporte e instalação dos elementos. As varandas são um dos elementos de construção destacados, adequados para esta utilização.

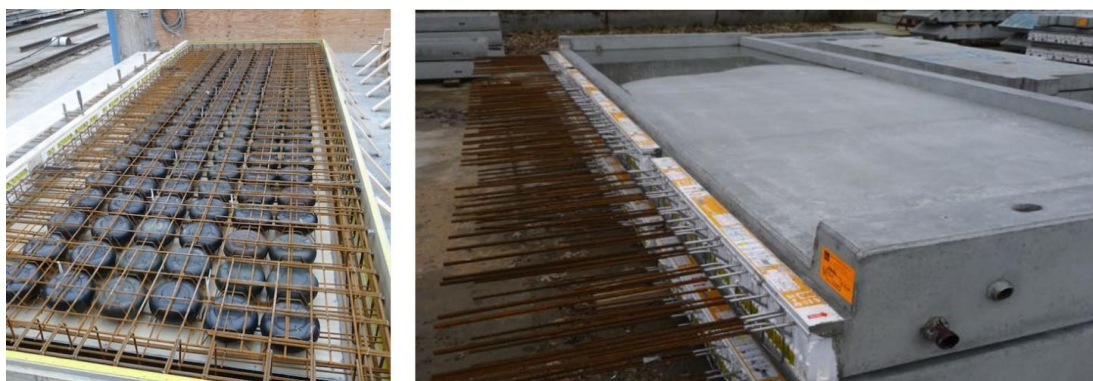


Figura 18 – Lajes COBIAX Pré-Fabricadas

SUSTENTABILIDADE

A indústria da construção civil é um dos setores que mais gera um impacto direto no meio ambiente, sendo a produção de cimento uma das principais fontes de emissão de CO₂.

Durante a produção de uma laje de betão armado, a produção de materiais de construção leva a emissões de CO₂ relacionadas com a matéria-prima e energia. A maior parte das emissões de CO₂ na produção de betão deve-se à produção de cimento, devido ao elevado consumo de energia (térmica e elétrica) e às emissões de CO₂ derivadas principalmente na decarbonatação do calcário durante a produção do cimento.

Num estudo levado a cabo pelo Instituto Fraunhofer, foi possível mostrar e quantificar o potencial da tecnologia **COBIAX CBX** na redução de emissões CO₂ na fabricação de lajes.

CASO DE ESTUDO

Na análise considerou-se uma emissão média de CO₂ de 0,70 kg por kg de cimento. Para a produção de cimento, supõe-se um adicional de betão 0,63 kg de CO₂ por m³ de laje e para a produção de aço de reforço considerou-se uma emissão de CO₂ de 1,73 kg por kg de aço.

Para uma laje maciça convencional, obteve-se os seguintes valores de consumos:

Laje maciça	Massa [kg/m ³ de laje]	Emissões de CO ₂ [kg/kg emitidos]	Emissões de CO ₂ [kg/m ³ de laje]
Cimento	300	0,70	210,00
Betão (excluindo cimento)	2,200	0,0003	0,63
Aço	145	1,73	250,85
		Total	461,48

Tabela 8- Emissões de CO₂ durante a produção de uma laje maciça convencional por m³.

Numa outra abordagem, considerou-se uma laje aligeirada similar com a tecnologia do sistema **COBIAX CBX**. A introdução dos vazios permitiu economizar 17% do aço de reforço necessário, de acordo com cálculo comparativo. As grelhas metálicas do sistema que servem para posicionar os vazios **COBIAX CBX** não foram consideradas no cálculo estático, mas foram incluídas no balanço de CO₂, de acordo com a tabela abaixo.

O consumo de energia na produção de um vazio **COBIAX CBX** com 100% material reciclado é cerca de 0,04 kWh por peça. Assumindo uma produção de CO₂ de 0,70 kg por kWh, há uma emissão de CO₂ de 0,34 kg por m³ de laje.

Para uma laje **COBIAX CBX** similar à laje maciça convencional considerada, obteve-se os seguintes valores de consumos:

Laje COBIAX CBX	Massa [kg/m ³ de laje]	Emissões de CO ₂ [kg/kg emitidos]	Emissões de CO ₂ [kg/m ³ de laje]
Cimento	210	0,70	147,00
Betão (excluindo cimento)	1,540	0,0003	0,44
Aço	120	1,73	207,60
Módulo Cobiax CBX	10	0,03	0,34
Grelhas metálicas	8	1,73	13,84
		Total	369,22

Tabela 9- Emissões de CO₂ durante a produção de uma laje maciça convencional por m³.



Isto resulta em emissões de CO₂ aproximadamente 369,22 kg para uma laje com tecnologia **COBIAX CBX**.

Para o balanço comparativo da quantidade de emissões de CO₂ entre os dois tipos de laje apresentados, tem-se a seguinte expressão:

$$\Delta = 461,48 - 369,22 = 92,26 \text{ kg/m}^3$$

Em suma, tem-se uma poupança de 92,26 kg de CO₂ por m³ de laje em comparação direta com a laje maciça convencional, uma redução na ordem dos 20%!

A sustentabilidade dos recursos naturais assume uma crescente importância nos dias de hoje, com a utilização de materiais reciclados para a constituição dos vazios e a redução da necessidade de betão, permite que o sistema **COBIAX CBX** promova por si só, uma estrutura com menor impacto ambiental e uma significativa redução da emissão de CO₂ inerente ao processo construtivo.



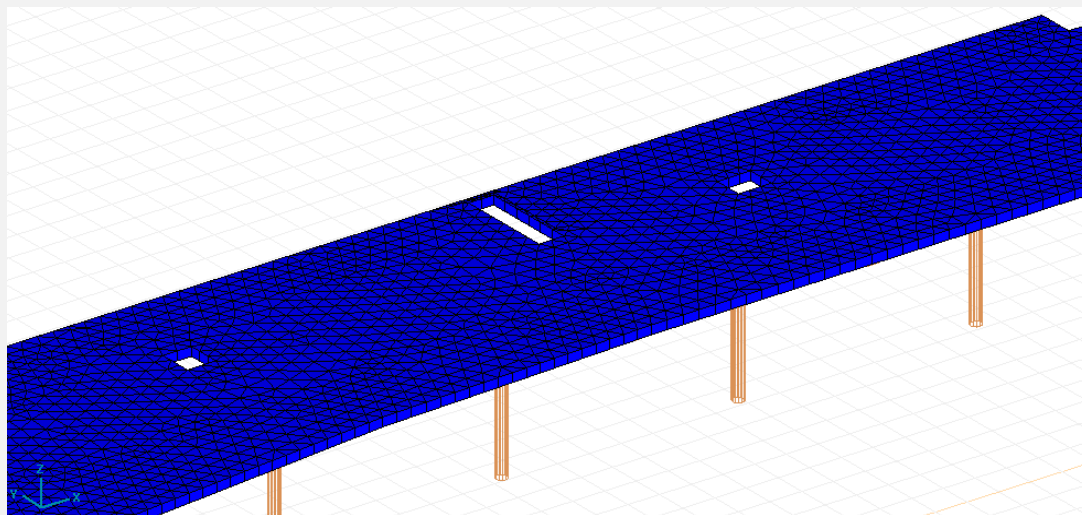
PROCESSO DE CÁLCULO DE UMA LAJE COBIAX CBX

No presente capítulo descreve-se o processo de cálculo de uma laje **COBIAX CBX** com a ajuda de um software de elementos finitos, o processo baseia-se nos métodos correntemente utilizados para a conceção estrutural de lajes maciças e é compatível com qualquer código ou regulamento em vigor.

O exemplo incluindo baseia-se no software FEM “Axis VM9”, porém, os princípios subjacentes são aplicáveis a qualquer software de elementos finitos que permita o cálculo de lajes maciças.

PASSO 1 - PRESSUPOSTOS, DADOS INICIAIS E PARÂMETROS COBIAX CBX

Defina os dados iniciais de acordo com os pressupostos da estrutura, tais como a geometria da laje, os apoios, as cargas e os materiais da mesma forma que o faria para uma laje maciça, assumindo desde já a espessura de laje pretendida. Com base na espessura de laje definida selecione o vazio **COBIAX CBX** que pretende utilizar considerando a redução de carga e o fator de correção da inércia de acordo com os parâmetros da Tabela 1 deste manual.



Modelo de cálculo de uma laje (visualização 3D) contendo algumas aberturas e suportado em colunas

Parâmetros genéricos de cálculo

$E = 34000 \text{ N/mm}^2$; $\delta = 25 \text{ kN/m}^3$; recobrimento = 25 mm; espessura $h = 300 \text{ mm}$

Parâmetros do sistema **COBIAX CBX** selecionado S-180

Redução de carga permanente - 2.32 kN/m^2

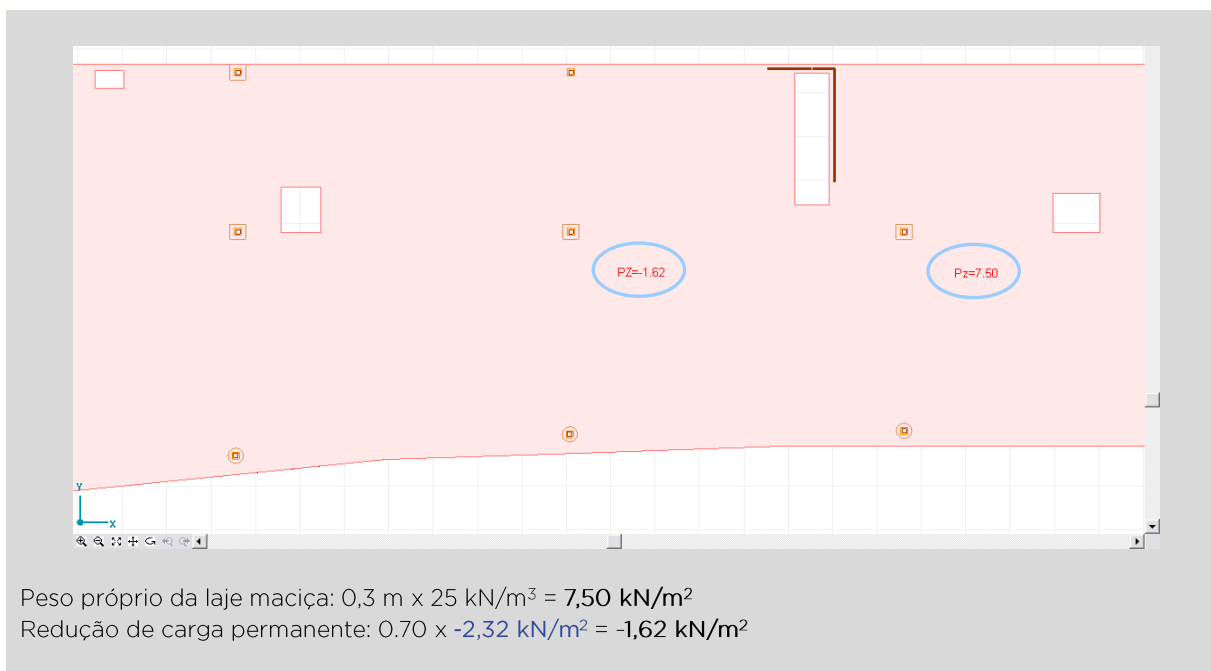
Fator de correção de inércia - 0.91



PASSO 2 - PADRÃO DE CARGA PERMANENTE ADICIONAL

Por regra, observável num conjunto alargado de ensaios, a área aligeirada representa aproximadamente 70 a 80% da área total da laje, no entanto recomenda-se para fins de pré-dimensionamento a utilização de um valor não superior a 70% para efeitos de redução da carga permanente na primeira fase do cálculo.

Propomos então que crie um caso de carga permanente adicional que represente a redução de carga proveniente dos vazios **COBIAx CBx** a instalar de acordo com a seleção efetuada no ponto anterior, esta carga deverá ter sentido inverso do peso próprio da laje considerado automaticamente.



Peso próprio da laje maciça: $0,3 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 7,50 \text{ kN/m}^2$
Redução de carga permanente: $0.70 \times -2,32 \text{ kN/m}^2 = -1,62 \text{ kN/m}^2$

PASSO 3 - ALTERAÇÃO DA INÉRCIA DA LAJE

Para consideração da redução de inércia da laje face à introdução do sistema **COBIAx CBx** deverá de acordo com as possibilidades que o seu programa oferece efetuar uma das seguintes operações:

- Altere o módulo de elasticidade do betão da laje afetando-o do coeficiente constante da Tabela 1;
- Altere a inércia dos elementos de laje afetando-os do fator de correção indicado na Tabela 1;

Calcule a deformação resultante incorporando no modelo o padrão de redução de carga permanente e a inércia modificada, verifique se cumpre os seus critérios, caso tal não aconteça deverá aumentar a espessura da sua laje.

Modificação de E: $0,91 \times 34000 \text{ N/mm}^2 = 30940 \text{ N/mm}^2$

Alteração do fator de rigidez global de 1 para **0,91**

Dependendo do software utilizado, este apresenta o cálculo da deformação linear (Estado I, elástica) ou não linear e permite calcular a deformação a longo prazo (Estado II). Para o caso linear, os valores da deformação elástica obtidos a partir do cálculo são tratados da mesma forma que para as lajes maciças quanto à avaliação da deformação de longo prazo.



PASSO 4 - CRITÉRIO DE RESISTÊNCIA AO CORTE E IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA MACIÇA

Calcule manualmente a resistência ao corte máxima permitida V_{cd} para uma laje maciça de igual espessura e multiplique esse valor pelo fator de correção ao corte indicado na Tabela 1 para obter a resistência ao corte da laje na zona aligeirada.

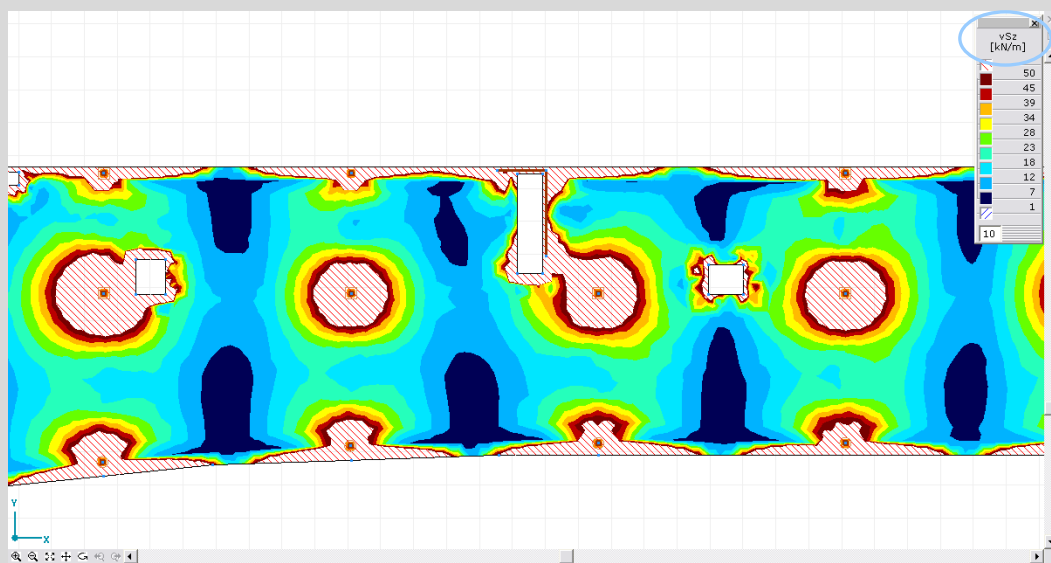
Visualize a distribuição dos esforços transversos no seu modelo e identifique as áreas da laje em que este valor excede a capacidade ao corte da zona aligeirada, naturalmente nestas áreas não deverão ser colocados os COBIAX CBX.

Assuma-se que para o exemplo temos $V_{cd} = 100 \text{ kN/m}$

Fator de redução ao corte para o COBIAX CBX S-180: 0.50

Teremos então na zona da laje aligeirada: $V_{cd, \text{COBIAX CBX}} = 0.50 \times 100 \text{ kN/m} = 50 \text{ kN/m}$

A distribuição dos esforços transversos na laje calculada mantendo o caso de redução de carga permite identificar as zonas onde estes valores excedem a força máxima de corte permitida $V_{cd, \text{COBIAX CBX}}$.





PASSO 5 - REFINAMENTO DO CASO DE REDUÇÃO DE CARGA

Este passo só será requerido caso pretenda um maior refinamento e exatidão dos valores esforços, nomeadamente em elementos verticais e fundações, uma vez que a sua redistribuição na laje resultará numa redução quer de esforços quer de deformações.

Utilizando os contornos das áreas maciças identificadas anteriormente volte a definir o caso de redução da carga permanente, afetando as zonas aligeiradas de 100% do valor da redução patente na Tabela 1 e retirando esta carga das zonas maciças.

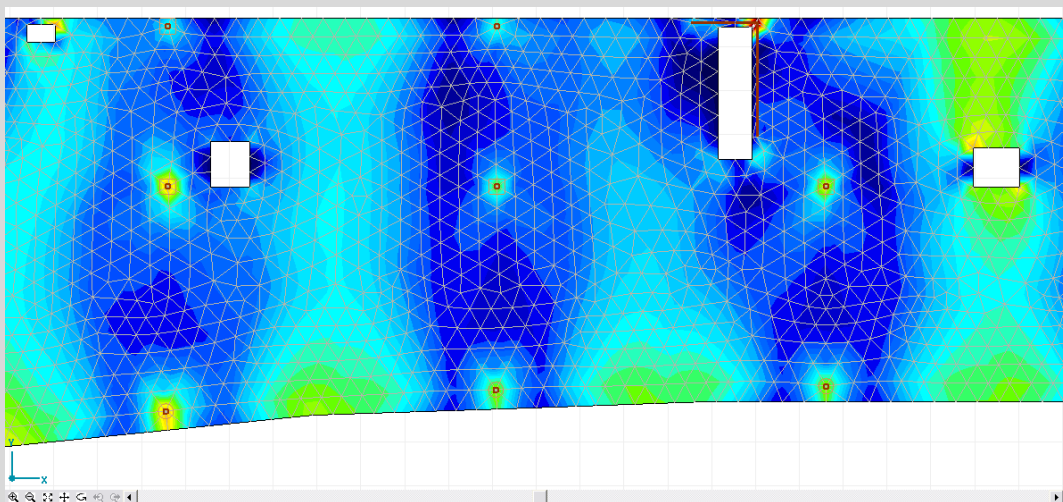




PASSO 6 - VERIFICAÇÃO E PORMENORIZAÇÃO DA SECÇÃO DA LAJE

A partir da análise de esforços e dimensionamento das armaduras e recobrimentos necessários é importante verificar a conformidade da secção preconizada, nomeadamente pela constatação da exequibilidade da mesma.

A soma dos recobrimentos, dos diâmetros dos varões e da altura da grelha **COBIAX CBX** deverá ser menor ou igual à espessura da laje definida, caso contrário deverá redefinir os varões a utilizar ou aumentar a espessura da laje, caso seja inferior então esta diferença pode ser compensada por espaçadores colocados para este efeito.



Distribuição dos esforços em estados limites últimos

Verificação de secção após a seleção da armadura

Recobrimento: 25 mm

Diâmetro dos varões da armadura inferior: 12 e 16mm (direções x e y na zona aligeirada)

Diâmetro dos varões da armadura superior: 12 mm (direções x e y na zona aligeirada)

Altura de suporte S-180: 190 mm

→ $\Sigma 25\text{mm} + 25\text{mm} + 12\text{mm} + 16\text{mm} + 12\text{mm} + 12\text{mm} + 190\text{mm} = 292\text{ mm}$

→ $292\text{ mm} \leq 300\text{ mm}$

A secção está corretamente dimensionada incluindo uma tolerância de construção de 8 mm.

PORMENORIZAÇÃO

DESENHOS DE IMPLANTAÇÃO/GEOMETRIA

Para uma correta montagem das grelhas **COBIAX CBX** em obra devem ser produzidos desenhos de geometria que incluam a caracterização, quantidade, orientação e cotas de implantação dos vazios, de maneira a que em conjunto com os desenhos de geometria da cofragem e pormenorização das armaduras permitirem a execução dos trabalhos da laje.

Os desenhos de implantação do sistema devem conter os seguintes elementos:

- Cotas relativas aos eixos ou ao limite da estrutura para implantação dos vazios;
- Secção característica da laje identificando as alturas do módulo **COBIAX CBX** e das lâminas;
- Indicação da ordem de montagem das armaduras e orientação das grelhas;
- Notas gerais sobre a utilização, manuseamento e montagem de uma laje **COBIAX CBX**.

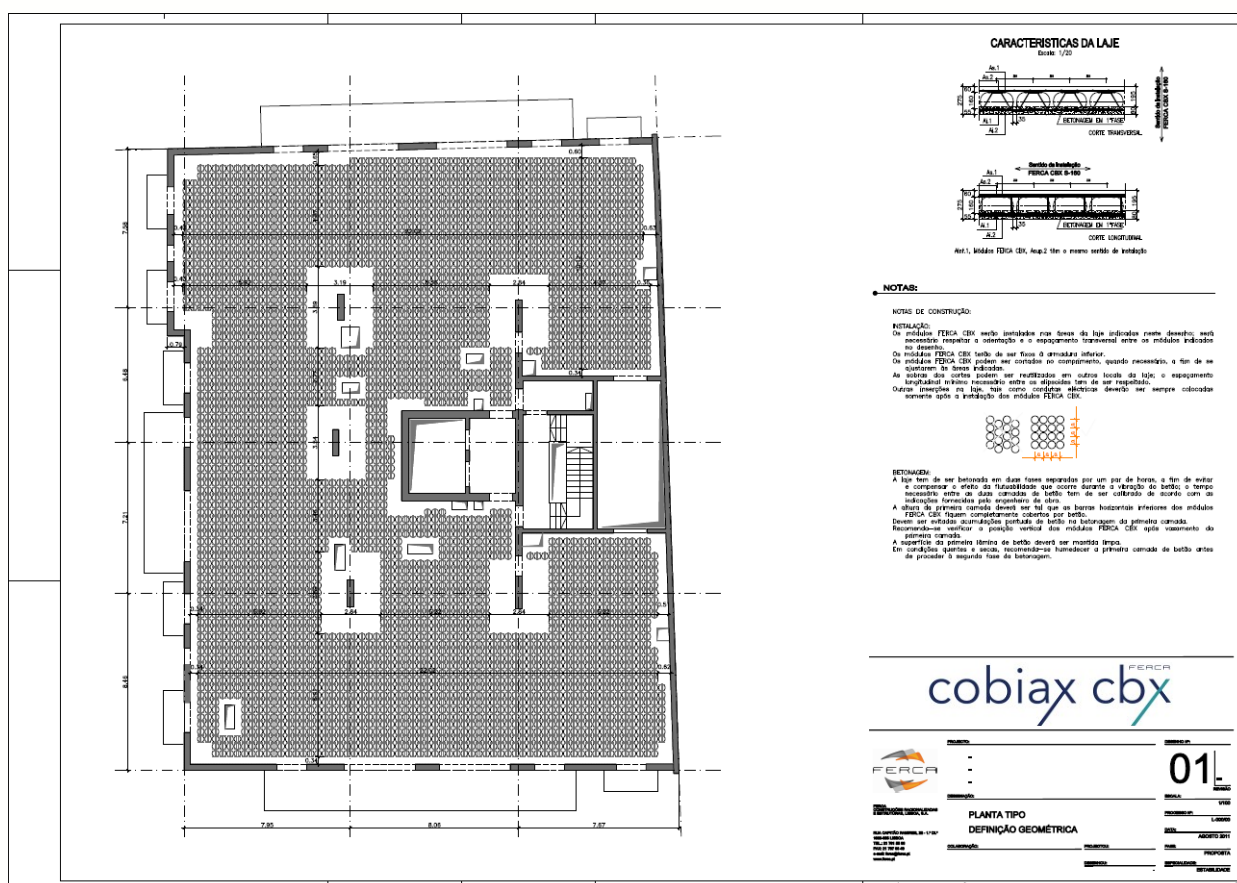


Figura 19 – Desenho de distribuição COBIAX CBX



Na distribuição do sistema **COBIAx CBx** devem ser respeitados os seguintes princípios:

A distribuição do sistema **COBIAx CBx** deve respeitar as zonas onde o esforço de corte excede a capacidade da laje deixando estas áreas maciças, ver figuras 20 e 21;

O afastamento entre eixos dos vazios **COBIAx CBx** deve respeitar as dimensões referidas na Tabela 1 deste documento à exceção de indicação específica em contrário;

Ao longo do bordo da laje e aberturas, recomenda-se deixar uma faixa maciça de aproximadamente 0.30 m ainda que não se exceda o esforço de corte da laje, de forma a evitar a interferência das grelhas **COBIAx CBx** com eventuais armaduras de reforço dos bordos;

Sempre que necessário, as grelhas **COBIAx CBx** devem ser cortadas no comprimento necessário de forma a preencher as áreas definidas e a sua distribuição deve respeitar a ortogonalidade da sua disposição;

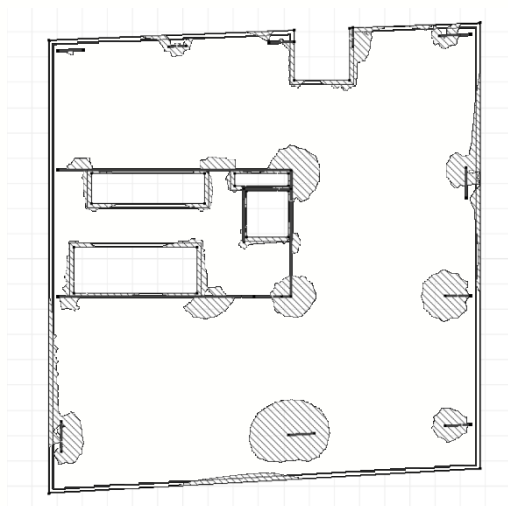


Figura 20 - Identificação no modelo de cálculo das áreas onde o esforço de corte excede a capacidade resistente da laje.

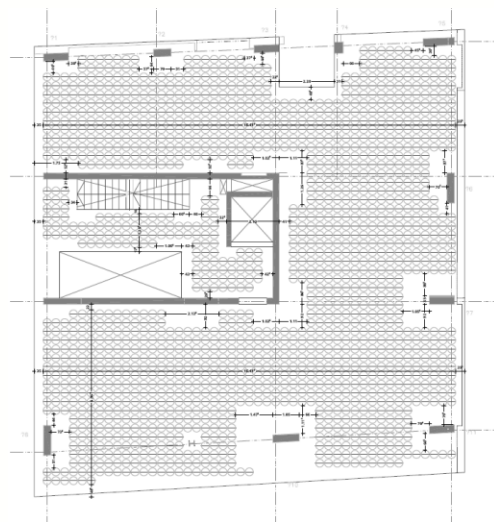


Figura 21 - Distribuição do sistema **COBIAx CBx** tendo em consideração as áreas maciças necessárias.

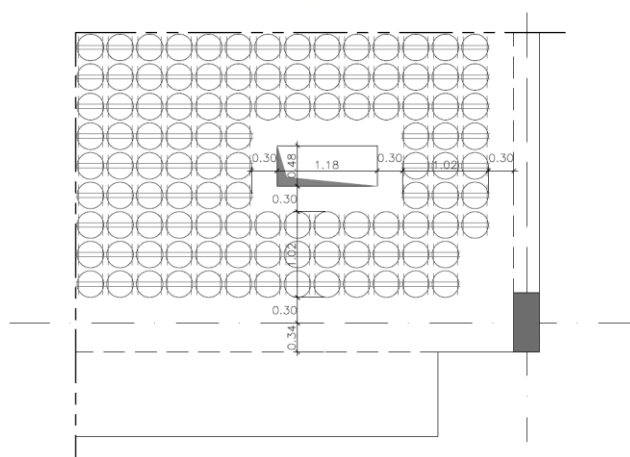


Figura 22 - Exemplo de desenho de implantação do sistema **COBIAx CBx**

INSTALAÇÃO DOS SERVIÇOS TÉCNICOS

Sendo o **COBIAx CBX** um sistema modelar a compatibilização com instalações diversas que se pretendam levar a efeito na laje é possível, devendo ser previamente previstas e patentes nos desenhos de distribuição as implicações na disposição dos módulos **COBIAx CBX**. Os vazios podem ser retirados individualmente para o atravessamento de tubos ou em linhas para a passagem de instalações diversas, por exemplo aplicação de pós-esforço na laje.

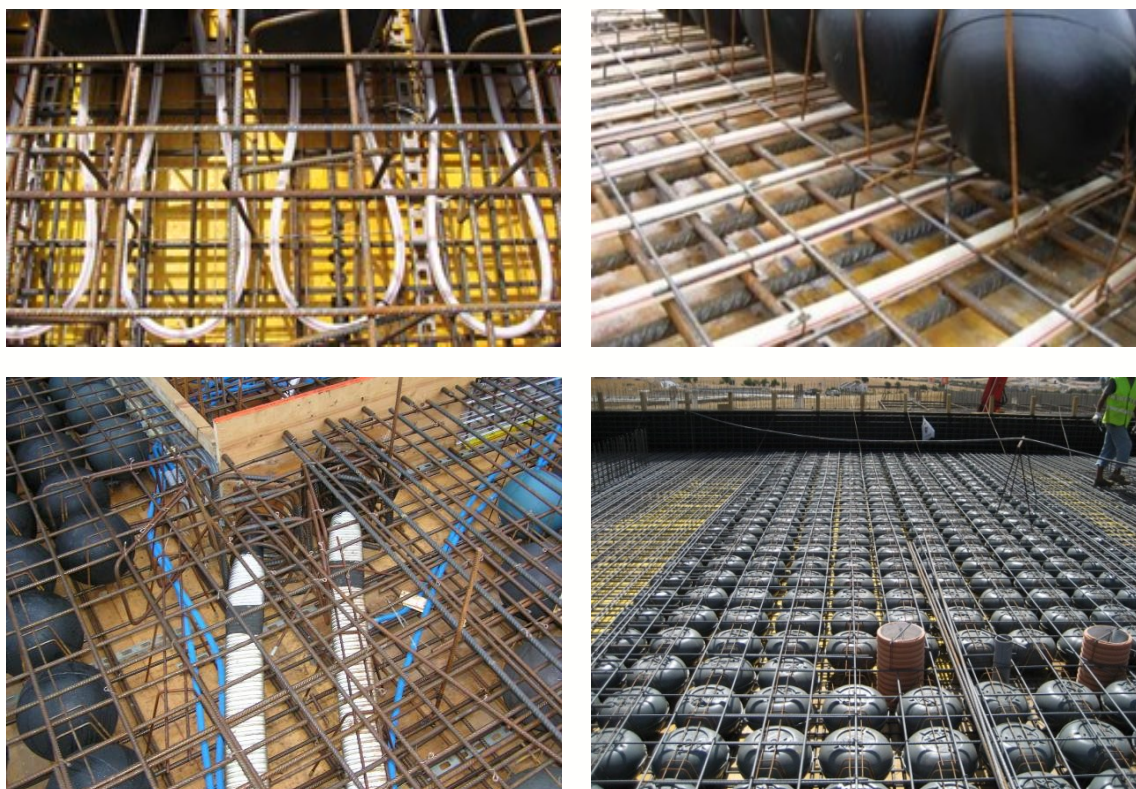


Figura 23 - Exemplos de instalações diversas e sistemas de pós-esforço numa laje COBIAx CBX

MONTAGEM DE UMA LAJE COBIAx CBX

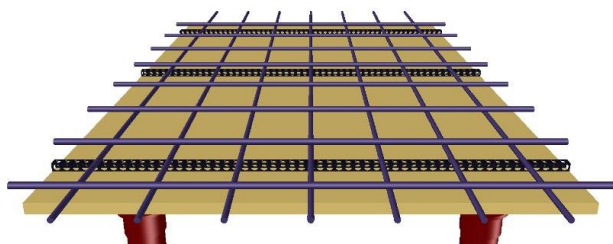
A montagem de uma laje **COBIAx CBX** é composta por diversos procedimentos, desde os fatores logísticos, o transporte do material, bem como, o processo de assemblagem do produto aos procedimentos aquando da sua execução em obra. Consultar o Manual de Procedimentos do sistema.



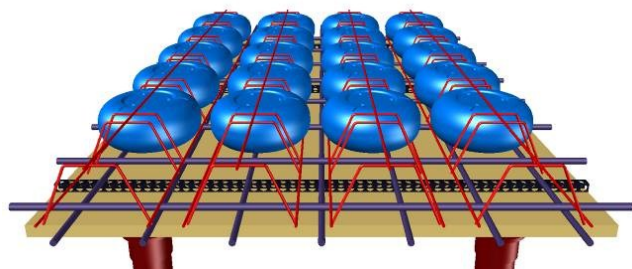
Figura 24 - Processo de assemblagem e armazenamento do material



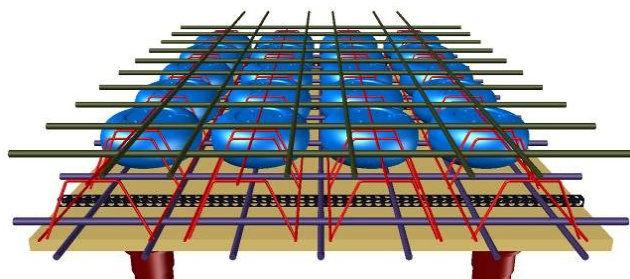
A execução de uma laje **COBIAx CBX** respeita na íntegra os mesmos princípios e procedimentos da montagem de uma laje maciça sendo as grelhas colocadas e fixas diretamente sobre a armadura inferior, de referir ainda a particularidade de estas servirem de apoio às armaduras superiores evitando as vulgares “cadeiras” das lajes maciças.



Execução de estrado corrido, colocação de calços para recobrimento e armadura inferior

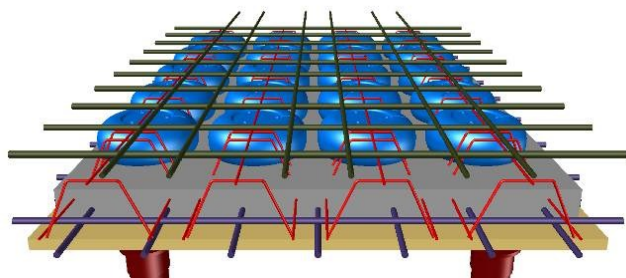


Colocação das grelhas COBIAx CBX diretamente sobre a armadura inferior, fixação com 2/3 nós por grelha

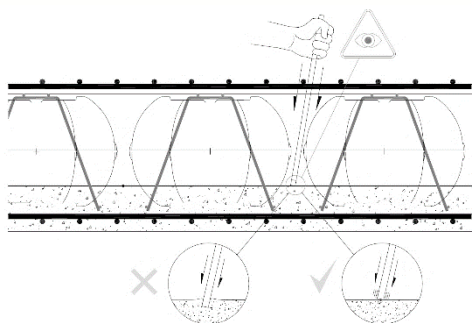


Colocação da armadura superior sobre as grelhas COBIAx CBX

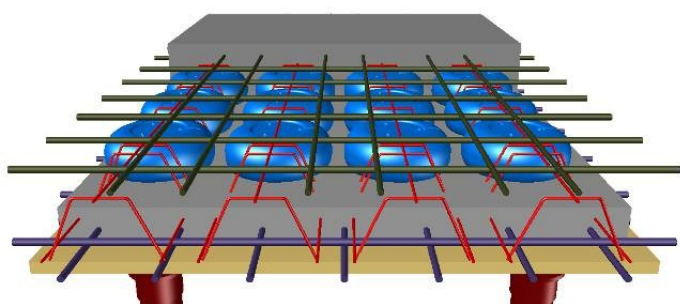




Betonagem da 1ª fase, até 1/3 da espessura ancorando as grelhas COBIAx CBX



Verificação da 1ª fase de betonagem da laje



Betonagem da 2ª fase, 1 a 2 horas após a 1ª fase, acabamento da laje



