



I CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

A large, stylized graphic. The letter 'I' is formed by two thick, black, horizontal bars that curve slightly. Below it, the word 'CIVIL' is written in a bold, black, sans-serif font, with the 'I' having a vertical stroke that aligns with the 'I' in 'CIVIL'.

CONGRESSO DE ENGENHARIA

JUIZ DE FORA - AGOSTO DE 1994

O PAINEL SANDUÍCHE NAS OBRAS CIVÍS. UMA REVISÃO DO EMPREGO NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES

Eng. Alexandre Araújo Bertini

Prof. Eloy Ferraz Machado Jr.

Departamento de Estruturas
Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo

SYSNO 0872045
PROD 000800

ACERVO EESC

RESUMO

Painéis do tipo sanduíche têm sido empregados com bastante frequência, e sucesso, na fabricação de componentes para construção civil.

Apresenta-se neste trabalho o estado da arte da construção sanduíche, abrangendo desde suas primeiras aplicações até as mais recentes. A produção e montagem dos diversos sistemas construtivos que empregam esta idéia também são abordados. Alguns modelos utilizados na análise do comportamento estrutural, destes componentes, são rapidamente discutidos.

1.0 GENERALIDADES

Painéis estruturais do tipo sanduíche ficaram conhecidos a partir da segunda guerra mundial pela sua utilização em estruturas de aviões. Desde então, o projeto e análise do comportamento deste tipo de painel tem sido amplamente estudado e divulgado, principalmente para o seu emprego na indústria aeronáutica. Tem sido crescente a utilização de painéis sanduíches nos mais diversos campos de aplicações, principalmente onde são necessárias estruturas resistentes e ao mesmo tempo leves. Por estas características, estruturas sanduíche tornaram-se frequentes na construção de aeronaves e também na construção civil como painéis de fechamento estruturais ou não, telhados, pisos e forros.

A primeira publicação descrevendo o comportamento de painéis sanduíches deve-se a W. FAIRBAIRN (An account of the construction of the Britannia and tubular bridges, JOHN WEALE et al, London, 1849). A idéia porém pode ter ocorrido independentemente à vários engenheiros e em diferentes épocas, sendo que qualquer pesquisa que se faça sobre a história do painel sánduíche provavelmente registrará trabalhos atribuídos a Leonardo da Vinci, ALLEN^[1].

Uma construção sanduíche pode ser definida como: "construção compreendendo uma combinação de alternativas diferentes de materiais simples ou compostos, reunidos e intimamente fixados um em relação ao outro, tal que o uso das propriedades de cada material empregado atribui vantagens estruturais para o conjunto como um todo" (Markwardt, 1951, p.13). Construções sanduíches estruturais dizem respeito a estruturas portantes. Existem algumas aplicações de componentes sanduíche em que a resistência a esforços é menos importante (painéis não estruturais), interessando mais outras características como: fechamento, isolamento térmico e isolamento acústico. São encontrados frequentemente o emprego de sanduíches como

equipamentos habitacionais como por exemplo: portas, tampo de escrivaninhas e móveis.

A fig.1 mostra o tipo mais simples de estrutura sanduíche, que consiste de duas faces separadas e unidas por um material de densidade e rigidez menores que o material da face. As faces têm a função portante do painel, resistindo aos esforços de tração e compressão quando solicitados. O núcleo deve unir as faces, mantendo-as separadas e a uma distância correta, impedindo o deslizamento relativo entre elas e previnindo a instabilidade das faces, individualmente, e do conjunto como um todo, quando sob ações de cargas.

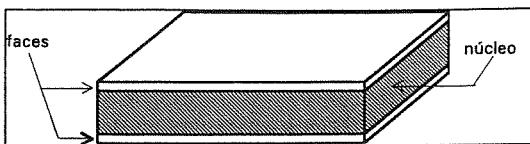


Fig.1. Painel Sanduíche

As funções do núcleo são vitais para o perfeito funcionamento do sanduíche. O material do núcleo é menos resistente que o material das faces, mas tem que atender a um mínimo de resistência para que o efeito sanduíche não seja perdido. Se o núcleo é bastante rígido então este contribuirá para a rigidez à flexão. Na prática o que ocorre é que os materiais empregados como núcleo são em geral de baixo módulo de elasticidade o que leva a desprezar sua contribuição à flexão, simplificando a análise de tensões e deformações.

2.0 MATERIAIS EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO SANDUÍCHE

Existem vários materiais que possibilitam uma combinação ilimitada para o projeto e construção de sanduíches, tal que aproveite as vantagens de cada material usando-as de forma mais eficiente. A escolha do material a ser utilizado vai depender da finalidade do seu emprego. As faces mais comumente encontrada são fabricadas com alumínio, magnésio, aço, madeira compensada, placa de fibra, cimento amianto, argamassa armada, tecido e papel. Os materiais para confecção do núcleo incluem madeira compensada, placa de fibra, acetato de celulose, borracha expandida, espuma de poliestireno, espuma de poliuretano, folha de alumínio, fibra de vidro, dentre outros.

Painéis sanduíches para estrutura de aviões são comumente fabricados com faces de metal e núcleo de ligas metálicas do tipo honeycomb ou corrugado. O tipo honeycomb é formado por faixas finas de uma liga de alumínio ou folha metálica no formato de favos de mel (fig.2.a). O núcleo corrugado é uma chapa de metal fixado alternadamente na faces inferiores e superiores (fig.2.b).

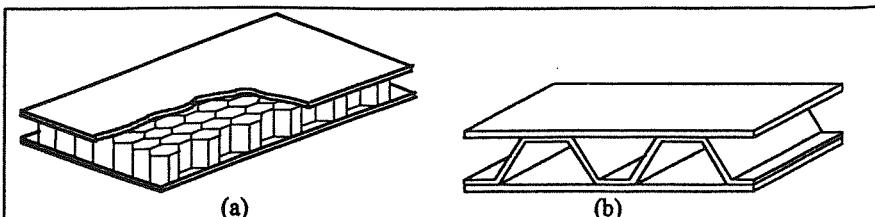


Fig.2. (a) Núcleo Tipo Honeycomb; (b) Núcleo Tipo Corrugado

Painéis para envoltórios dielétricos de antenas, que devem permitir a captação de sinais pelo radar, utilizam plástico reforçado para as faces e o mesmo material ou papel impregnado com resina polimérica no núcleo do tipo honeycomb.

Na construção civil utiliza-se na maioria das vezes componentes semi-estruturais, ou seja, são submetidos a carregamentos pequenos. Comumente é utilizado nas faces cimento amianto, plástico reforçado com fibra, madeira compensada, argamassa armada e concreto. Para este tipo de construção utiliza-se núcleo do tipo honeycomb e do tipo corrugado executadas com papel impregnado com resinas e plásticos reforçados. No final da década de 60 desenvolveu-se nos Estados Unidos sistemas construtivos habitacionais empregando painéis sanduíche de argamassa armada que tinham como núcleo espumas expandidas de poliestireno e poliuretano. Novos materiais e novas combinações de materiais antigos são constantemente propostos e utilizados.

Para o projeto e especificação de painéis sanduíche é essencial o conhecimento das várias propriedades do material, como: propriedades mecânicas, isolamento térmico, isolamento acústico, durabilidade e em alguns casos, condutividade dielétrica.

3.0 UTILIZAÇÃO DO PAINEL SANDUÍCHE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na construção de aeronaves é importante que se tenha um material resistente e leve, como já se disse anteriormente. Na construção civil, além das características citadas, outras são muito importantes como é o caso da isolamento térmica e acústica quando se utiliza o sanduíche como componente para edificação.

A utilização de painéis sanduíches como componentes habitacionais não é recente. São conhecidas patentes de painéis pré-fabricados para habitação datados da década de 30, MARKWARDT^[17]. Os painéis utilizados como paredes, telhado e piso, consistiam de faces de madeira compensada coladas em ambos os lados a enriげedores longitudinais. O vazio entre as faces era preenchido posteriormente com material isolante.

Este sistema de painéis leves, com enriげedores foi empregado na construção de casas nos Estados Unidos. Um protótipo foi construído pela Forest Products Laboratory cujo estado, passado alguns anos, mostrou-se em excelentes condições.

Os painéis do telhado tinham 1219mm de largura por 4267mm de comprimento, construído com madeira compensada de 15,9mm de espessura na face superior e 9,5mm de espessura na face inferior, colados a três enriげedores de 50,8mm por 152,4mm. Ensaios realizados, mostraram que a tensão de ruptura dos painéis foi superior a 14kPa, ou seja, uma tensão muito maior que a necessária a resistir os esforços atuantes.

Em estudos experimentais posteriores, desenvolveu-se um núcleo do tipo honeycomb de papelão tratado com resina fenólica o qual conferia rigidez e proteção à condições severas de umidade. Este tipo de núcleo substituiu os enriげedores fazendo com que o painel trabalha-se como verdadeiro sanduíche. Utilizou-se nestes estudos como material das faces além de madeira compensada: chapa de alumínio, dentre outros. No geral as cargas de serviço eram bem inferiores às cargas de ruptura dos painéis.

O emprego de painéis sanduíche na construção civil teve um grande desenvolvimento entre os anos de 1968 e 1970 quando o governo dos Estados Unidos

incentivou a criação de soluções alternativas para construção de moradias com o objetivo de amenizar o problema de falta de habitações nos Estados Unidos, NANNI & CHANG^[18]. Nesta época foi desenvolvido um sistema construtivo pré-fabricado em usina, utilizando painéis sanduíche de ferrocimento como componentes das paredes, pisos e cobertura.

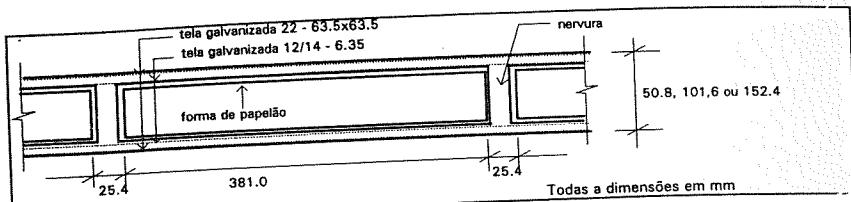


Fig.3. Detalhe do Painel

Os painéis tinham faces com 12,7mm de espessura, armadas com duas camadas de tela de arame galvanizado. As faces eram unidas por nervuras que faziam o enriquecimento do painel, garantindo o efeito sanduíche. As nervuras eram espaçadas de 406,4mm com 25,4mm de espessura (fig.3).

A moldagem era executada horizontalmente sobre mesa metálica, sendo que para confecção das nervuras utilizou-se forma de papelão tipo caixão perdido.

Cuidados especiais, com o lançamento, controle da espessura e trabalhabilidade da argamassa, eram tomados através da utilização de equipamentos de vibração e aditivos. As instalações elétricas e hidráulicas eram embutidas antes da peça ser argamassada.

Os painéis de piso, paredes e telhados eram conectados através de juntas de concreto moldado no local.

As dimensões do protótipo eram 7,10m de largura por 14,33m de comprimento construído em duas partes, correspondendo às partes úmidas e seca respectivamente.

Em 1974 o sistema foi modificado, adaptando-se à construção moldada in loco, surgindo assim o sistema construtivo W-Panel.

O painel, base do sistema construtivo, consistia de uma estrutura espacial treliçada fabricada com duas telas de malhas quadradas de fio 14, soldadas e espaçadas de 50,8mm. Para manter o espaçamento, também de 50,8mm, entre as telas e produzir o efeito treliça eram soldados fios individuais de mesmo diâmetro em diagonal, unindo a superfície de cada tela (fig.4).

Após a fabricação da armadura, a espuma de poliuretano era expandida no interior da armadura, mantendo-se um afastamento do plano de cada face de armação, de 12,7mm. Este afastamento permitia que os fios da armadura fossem totalmente recobertos pela argamassa, durante sua aplicação na obra, manualmente ou por projeção. A espessura das camadas que recobriam os fios, de cada lado do painel, era de 22mm.

As dimensões do W-Panel (armadura e espuma) eram de 1,20m por 2,5m, pesando aproximadamente 12kg propiciando fácil manuseio para a construção no local. Como componente estrutural, os painéis eram também fornecidos em comprimento de 1,8m por 4,3m. Os cortes nos painéis para se adequar às dimensões de projeto não afetavam suas características estruturais.

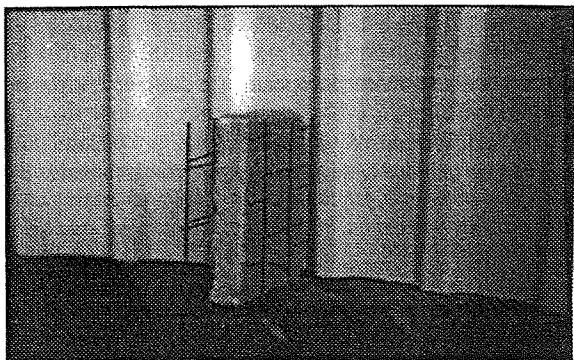


Fig.4. Fatia do W Panel

Depois da conexão dos painéis, eram embutidas as instalações elétricas e hidráulicas.

Segundo o fabricante o custo da moradia, executada através do sistema, era de 20% menor que os métodos convencionais, que utilizava madeira, blocos de concreto ou tijolos.

O sistema foi inteiramente provado em instalações comerciais, industriais e residenciais em diferentes estados dos Estados Unidos, Iran, África, Itália, Venezuela e Guam. A fig.5 mostra a aplicação em um conjunto habitacional em fase de construção antes do lançamento da argamassa.

Alguns sistemas semelhantes ao W-Panel surgiram, como o Welded Wire Sandwich Panel (WWSP) e o Sistema Monolite.

O WWSP foi inicialmente patenteado nos Estados Unidos por Victor Weisman na Califórnia em 1967, mas o sistema foi mais utilizado em outros países, isto porque provavelmente os sistemas que utilizavam madeira eram abundantes e mais baratos.



Fig.5. Aplicações do W Panel

O sistema WWSP é o esqueleto e reforço estrutural de um versátil sistema de construção de painéis (fig.6). O painel consiste de uma estrutura espacial treliçada semelhante ao W-Panel diferindo apenas nas disposições dos fios de conexão das duas telas que formam a treliça. Utiliza-se como espuma rígida no interior da estrutura treliçada, o poliuretano e o poliestireno pré-expandidos. Emprega-se comumente o WWSP como paredes externas e internas, pisos, telhados e divisórias.

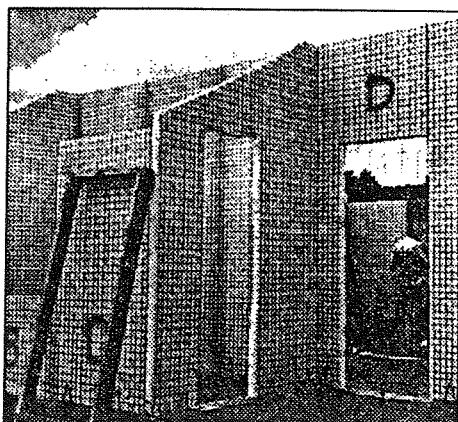


Fig.6. Sistema WWSP

Existem ao todo 4 fabricantes do WWSP nos Estados Unidos e 15 fora dos Estados Unidos. Os quadros seguintes (CONCRETE CONSTRUCTION, abril 1990), mostram a variedade de emprego do WWSP como também as diferenças entre os painéis sanduíches de 4 fabricantes.

COMO O WWSP TEM SIDO UTILIZADO

Hotéis	Hospitais
Armazém industrial	Escolas
piscinas	Silos graneleiros
Residências	Prisões
Abrigos e alojamentos militares	Paredes de contenção
Estaleiros	Muros
Painéis Estruturais	Reforço de túneis

DIFERENÇAS ENTRE WWSP DE FABRICANTE DOS U.S.

Fábrica	Espessura do Painel (mm)	Largura do Painel (mm)	Comprimento do Painel (mm)	Tipo de Núcleo	Espessura do Núcleo (mm)
A	76.2- 101.6- 127.0-149.4	101.6	152.4-1016	poliuretano	12.7-114.3
B	76.2- 101.6	101.6	203.2-609.6	poliestireno	50.8-76.2
C	50.8- 76.2	101.6	152.4-406.4	poliuretano	12.7-50.8
D	76.2	101.6	203.2	poliestireno	57.15

A execução da montagem do WWSP não difere em nada do W-Panel. Somente depois de montados os painéis e toda instalação elétrica e hidráulica é que se faz a aplicação da argamassa nos dois lados do painel, através de jateamento.

O sistema traz vantagens de custo ,segundo os fabricantes, quando produzido em grande quantidade (50 ou mais casas) porque economiza mão de obra tanto na produção como na montagem.

O sistema Monolite é semelhante aos dois últimos sistemas apresentados, diferenciando-se apenas na disposição das armaduras de conexão das telas. O painel é composto por uma placa de poliestireno pré-expandida, envolto em telas de arame de aço. Quanto a montagem, execução e utilização dos painéis é muito parecido aos anteriores não necessitando tecer maiores detalhes sobre o assunto.

O Painel sanduíche pré-moldado de concreto armado (PSPC) é um outro componente de um sistema construtivo, com características sanduíche, no qual se utiliza o concreto como material de face. O sistema emprega barras de aço como conectores, mostrado na fig.7. Estes conectores podem estar tanto na perpendicular em relação as faces quanto inclinados. O núcleo utilizado pode ser de poliestireno ou poliuretano expandidos, conferindo ao painel boas propriedades de isolamento térmico e acústico.

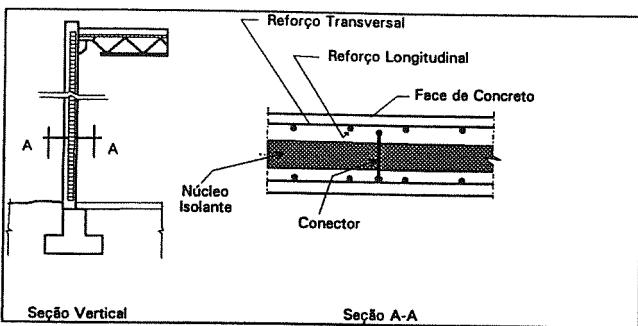


Fig.7. Seção Típica do PCSP.

Este sistema tem sido utilizado como paredes internas e externas na construção de residências, unidades comerciais e armazéns.

O PSPC é estruturalmente e termicamente bastante eficiente como elemento de construção.



Fig.8. Sistema Desenvolvido por Machado Jr.

MACHADO Jr.^[16] desenvolveu em 1990 um sistema construtivo para habitações de baixo custo, utilizando como componente principal painéis do tipo sanduíche, auto portantes, com capas de argamassa armada e núcleo de espuma rígida de poliuretano expandida in loco entre as faces.

Os painéis tinham 45x247cm² com espessura final de 5cm (fig.8). As capas de argamassa armada tinham espessura de 1,1cm e eram armadas com uma tela soldada, EL126 (2,5x5,0 cm²), com fios de aço de 2mm de diâmetro. A transferência das tensões de cisalhamento eram executadas apenas pelo núcleo de poliuretano. Ensaios de resistência à flexão e a compressão excêntrica mostraram a grande performance do componente.

Um protótipo de habitação tipo embrião (fig.9), com 24,5m² de área útil, foi construído com o objetivo da determinação do desempenho do sistema construtivo, o que foi demonstrado pela eficiência na montagem das paredes - seis horas e quinze minutos incluindo a caixilharia de portas e janelas. O protótipo foi ensaiado quanto ao conforto térmico e está sob ação natural das variações climáticas há quatro anos, permanecendo perfeitamente íntegro.

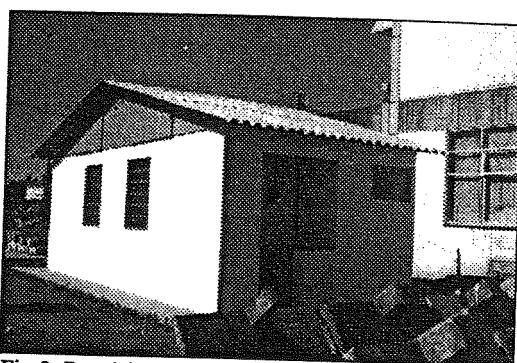


Fig.9. Protótipo da casa

4.0 ANÁLISE E PROJETO DE PAINÉIS SANDUÍCHE

Na discussão precedente sobre os vários tipos de painéis sanduíche utilizados na construção civil, verificou-se claramente dois tipos:

- Painéis com conectores e/ou nervuras;
- Painéis sem conectores e nervuras.

O tratamento dado ao cálculo das tensões e dos deslocamentos transversais destes componentes, quando submetidos à flexão, é diferenciado segundo a presença ou não de elos de ligação (conectores e/ou nervuras).

A diferença fundamental nestes dois tipos de sanduíches está no fato da existência ou não de uma efetiva aderência do núcleo com as faces e a consideração ou não de deslocamentos relativos entre elas, que irá influir diretamente no cálculo das tensões nas faces e nos deslocamentos perpendiculares ao eixo do painel.

Para solução deste problema existem soluções analíticas, ALLEN^[1]; PLANTEMA^[23], bem como uma gama de soluções numéricas utilizando diferenças finitas, elementos finitos e análise matricial. Em muitos casos é levado em conta o efeito da temperatura no comportamento do painel como um todo.

4.1 Painéis Sanduíches com Conectores ou Nervuras

Os painéis sanduíche que utilizam conectores ou nervuras para transferência de tensões de cisalhamento podem ser classificados como:

- 1) Painéis completamente composto;
- 2) Painéis parcialmente composto;
- 3) Painéis não composto.

O enquadramento de um painel sanduíche nesta classificação vai depender da percentagem de cisalhamento que os conectores são capazes de transferir, isto é aferido através de ensaios.

A distribuição de tensões devido a flexão para as três situações dos painéis são mostrados na fig.10.

Observa-se pela figura que os níveis de tensões nas faces serão maiores em função do grau de eficiência dos conectores.

Assume-se como hipóteses básicas para o cálculo das tensões e deformações no sanduíche, que as seções permanecem planas e perpendiculares ao eixo longitudinal do painel fletido.

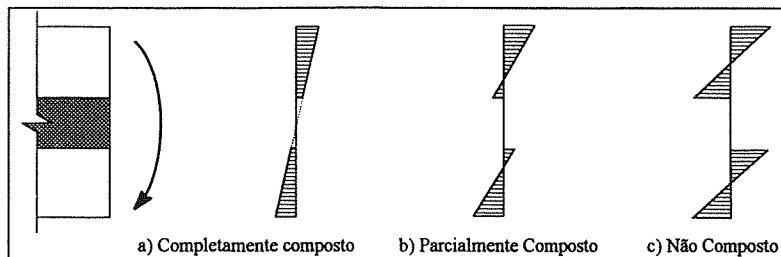


Fig.10. Distribuição de Tensões

Dentro de certos limites os painéis podem ser calculados aproximadamente como vigas, usando a teoria elementar da flexão.

O dimensionamento do painel sanduíche é feito no estado limite último, baseado no mesmo procedimento adotado no concreto armado.

4.2 Painéis Sanduíches sem Conectores

Quando o elemento para transferência de cisalhamento é um núcleo flexível, tipo espuma de poliuretano ou poliestireno, o procedimento analítico para o cálculo das tensões e deflexões do sanduíche é diferente do tratamento dado ao sanduíche com conector. Neste caso é importante levar em conta a deformação transversal do núcleo.

A fig.11 mostra uma viga sanduíche, nestas condições, e sua seção transversal. Segundo ALLEN^[1], as relações geométricas da seção transversal estabelecem certas condições que indicam a direção da análise estrutural a se tomar.

Quando as faces são finas, ou seja, quando é satisfeita a seguinte condição:

$$3\left(\frac{d}{t}\right)^2 > 100 \quad (1)$$

onde:

d - distância entre os eixos das faces;

t - espessura das faces.

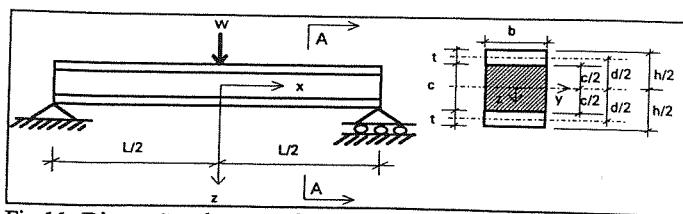


Fig.11. Dimensões de uma Viga Sanduíche. Seção AA à direita

Verificada a condição (1) pode-se então desprezar a rigidez à flexão das faces. Para que se possa desprezar a contribuição à flexão do núcleo, a seguinte condição deve ser verificada:

$$6 \frac{E_f}{E_c} \frac{t}{c} \left(\frac{d}{c}\right)^2 > 100 \quad (2)$$

onde:

E_f - módulo de elasticidade das faces;

E_c - módulo de elasticidade do núcleo;

c - espessura do núcleo.

Satisfetidas as condições (1) e (2), as tensões e os deslocamentos transversais no sanduíche podem ser calculadas pela teoria simples da flexão.

Para o caso da condição (1) não ser satisfeita então considerar-se-á a contribuição da rigidez à flexão local das faces. Isto acontece quando as faces são grossas. A deformação transversal do núcleo é reduzida a custa da introdução adicional de momentos fletores e forças cortantes nas faces.

Sanduíches com faces de argamassa armada e núcleo de poliuretano expandido são classificados como sanduíches de faces grossas.

As expressões matemáticas para o cálculo dos deslocamentos, tensão de cisalhamento e tensão normal numa viga sanduíche simplesmente apoiada podem ser encontradas em ALLEN^[1], para diversos tipos de carregamentos.

O cálculo das tensões e deslocamentos do sanduíche também podem ser conduzidos numericamente, sendo vasto o número de artigos que discorrem a respeito do assunto, tais como: FROSTIG^[8]; HA^{[9],[10]}.

5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Painéis sanduíches além de serem bastante utilizados em estruturas de aviões, também vem sendo usado com bastante êxito em construções civis. Este crescimento da utilização de sanduíches como componentes de edificações, se deve ao fato da sua eficiência estrutural e das excelentes características térmicas e acústicas garantidas pelo núcleo.

No projeto de painéis sanduíches, a presença ou não de elos de ligação entre as faces é importante na escolha do modelo de cálculo. Um bom dimensionamento da peça vai depender da fidelidade do modelo que representa a situação real da peça.

É importante salientar a influência da deformação transversal nos núcleos flexíveis em painéis sanduíche de faces que tenham considerável rigidez à flexão (faces de argamassa armada), provocando momentos fletores e cortantes adicionais nas faces do painel.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALLEN, H.G. *Analysis and design of structural sandwich panels*. Oxford, Pergamon, 1969.
- [2] ALLEN, H.G. Measurement of shear stiffness of sandwich beams. *Trans. J. Plastic Inst.*, p.359-363, Feb. 1967.
- [3] ALLEN, H.G. Analisys of sandwich panels: the significance of shear deformation. *Composites*, p.215-219, June, 1970.
- [4] AMIN EINEA, P.E., SALMON, D.C., FOGANASI, J.G., CULP, T.D. & TADROS, M.K. State-of-the-art of precast concrete sandwich panels. *PCI Journal*, v.36, n.6, p78-98, Nov.-Dec. 1991.
- [5] BANSULBUL, A.I., SALEEM, M. & AL-SULAIMANI, G.J. Flexural behavior of ferrocement sandwich panels. *Cement & Concrete Composites*, v 13, p.21-28, 1991.
- [6] CABRINI MONOLITE. *Sistema de construção Anti-Sísmico e Isolante Termo-Acústico*. Idaiatuba-SP, s.d. (catálogo técnico)
- [7] ROBLES-AUSTRÍACO, L., PAMA, R.P., VALLS, J. & SINGH, C. Pré-fabricated ferrocement housing worldwide. *Journal of Ferrocement*, v.13, n.1, p.43-60, Jan. 1983.
- [8] FROSTIG, Y. High-order behavior of sandwich beams with flexible core and tranverse diaphragms. *Journal of Engineering Mechanics*, v.119, n.5, p.955-972, May. 1993.
- [9] HA, K.H. Stiffness matrix for exact solution of sandwich beam and frame systems. *Journal of structural Engineering*, v.119, n.4, p.1150-1167, April, 1993.

- [10] HA, K.H. Finite element analysis of sandwich plates: an overview. *Computers & Structures*, v.37, n.4, p.397-403, 1990.
- [11] HANAI, J.B. & EL-DEBS, M.K. Uma revisão da aplicação da argamassa armada (ferrocimento) em habitações. In: SIMPÓSIO ÍBERO AMERICANO SOBRE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 3, São Paulo, out. 1993. *Anais*. v.2, p.435-446
- [12] HURD, M.K. Expanded polyestirene wall forms. *Concrete Construction*. v.34, n.8, p.697-699, Mar. 1989.
- [13] HURD, M.K. Welded wire sandwich panels shotcreted. *Concrete Construction*, v.36, n.12, p.878-880, Dec. 1991.
- [14] LANING, A. Polystyrene wall forms assemble in a snap. *Concrete Construction*, v.37, n.3, p.207-209, Mar. 1992.
- [15] LEE, S.L., MANSUR, M.A., PARAMASIVAM, P., ONG, K.C.G. & TAM,C.T. A study of sandwich wall panel. *Journal of Ferrocement*, v.16, n.3, p.295-313, 1986.
- [16] MACHADO Jr., E.F. *Casas populares pré-moldadas em argamassa armada: procura de uma solução econômica e confortável*. São Carlos, 1991. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.
- [17] MARKWARDT, L.J. Developments and trends lightweight Composite Construction. In: SYMPOSIUM ON STRUCTURAL SANDWICH CONSTRUCTION, American Society for Testing Materials, Atlantic City, p.3-31, Jun. 1951. p.3-31
- [18] NANNI, A. & CHANG, W.F. Ferrocement sandwich panels under bending and edge-wire compression. *Journal of Ferrocement*, v.36, n.2, p.215-219, April, 1986.
- [19] O'CONNOR, D.J. A comparrison of test methods for shear properties of the cores of sandwich constructions. *Journal of Testing and Evaluation*. v.17, n.14, p.241-246, July, 1989.
- [20] O'CONNOR, D.J. Point concentration in thick-faced sandwich beams. *Journal of Engineering Mechanics*, v.114, n.5, p.733-752, May, 1988.
- [21] PFEIFER, D.W. & HANSON, J.A. *Precast concrete wall panels: flexural stiffness of sandwich panels*. Portland Cement Association.
- [22] PICKARD, S.S. Welded wire sandwich panels: an alternative to wood-frame construction. *Concrete Construction*, v.35, n.4, p.363-366, April, 1990.
- [23] PLANTEMA, F. *The bending and buckling of sandwich beams, plates and shells*. John Wiley and Sons, London, U.K, 1966.