

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA DE UM BLOCO CIRÚRGICO MODULAR

João Gabriel Gomes de Oliveira, joao_unb_enm@hotmail.com¹

Andrea Pozo Rodriguez, andreapozo93@gmail.com²

Claire Kelly, clairekelly1993@gmail.com²

João Manoel Dias Pimenta, pimenta.joao@gmail.com¹

Marta Adam Quílez, martadamquilez@gmail.com²

Vicent Agulló de Andrés, vsagullo@gmail.com²

¹Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, Brasil;

LaAR - Laboratório de Ar Condicionado, www.facebook.com/UnB.LaAR/

²Escola Politécnica Superior de Engenharia de Vilanova i la Geltrú, Av. de Víctor Balaguer, Vilanova i la Geltrú, Espanha.

Resumo: O presente trabalho apresenta um bloco cirúrgico que foi projetado por uma equipe multidisciplinar para atender a qualquer região que tenha sofrido desastre natural ou em países subdesenvolvidos. Estes locais possuem baixo nível de infraestrutura e, portanto, apresentam vários problemas na área da saúde, inclusive o atendimento cirúrgico inadequado. A alimentação precária, moradias insalubres e a falta de políticas de incentivo para resolver esses problemas agravam ainda mais essas dificuldades. Sendo assim, foi realizado o projeto da construção de uma unidade cirúrgica modular capaz de ser transportada para essas regiões com o intuito de minimizar os problemas dessa ordem. Esta unidade é composta pelo centro cirúrgico, área pré/pós-operatória e a sala de vestiário/armazém e possui todos os aspectos necessários para seu funcionamento, desde os instrumentos médicos até as instalações elétrica e mecânica, incluindo climatização, possibilitando a realização de cirurgias convencionais e de urgência. A carga térmica do bloco cirúrgico foi calculada com base em tabelas simplificadas para o cálculo geral de resfriamento em residências considerando apenas o ganho de calor de ocupantes, aparelhos elétricos e do piso da unidade cirúrgica. Essa carga foi recalculada para obter resultados mais precisos utilizando o método Cooling Load Temperature Differences (CLTD) que é indicado para pequeno número de zonas, como é o caso da aplicação em questão. O novo método utilizado mostrou-se adequado por considerar além dos ganhos de calor mencionados anteriormente, os ganhos por: infiltração, ventilação, iluminação e cargas externas (paredes e laje).

Palavras-chave: bloco cirúrgico, carga térmica, container, método da CLTD.

1. INTRODUÇÃO

Em 2007, um funcionário da Organização Mundial da Saúde (OMS), Lamy, relatou que “os países subdesenvolvidos possuem 93% das doenças registradas no mundo e gastam menos de 11% do custo global em saúde” (G1, 2007), demonstrando que a qualidade de saúde nestes países é precária. Em 2010, estudos da revista *The Lancet* publicados pela OMS, revelam que nos países pobres a cada três pacientes submetidos à cirurgia com a utilização de recursos limitados, um é infectado. Alguns fatores que aumentam esse risco de contaminação são: falta de higiene, cuidados com o lixo hospitalar, baixo nível de infraestrutura, equipamento inadequados, ausência de empregados especializados, superlotação e de políticas de prevenção (VEJA, 2010). Já em 2013, a OMS afirmou que a qualidade da saúde dos países subdesenvolvidos melhorou a partir dos dados do anuário *World Health Statistics 2013* que registrou progressos em relação à mortalidade infantil, nutrição e prevenção de doenças. Entretanto, esses países ainda estão longe de obter a qualidade de saúde desejada (SARRES, 2013).

Quando ocorrem desastres naturais nos países subdesenvolvidos, os problemas no setor da saúde são agravados e dificulta ainda mais o atendimento aos pacientes que são vítimas destes acidentes. Portanto, para melhorar o atendimento médico nestes locais e proporcionar um ambiente adequado para realização de cirurgias, uma equipe formada por três professores e cinco estudantes de diferentes áreas: Design Industrial, Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica da *Universitat Politècnica de Catalunya* (UPC) em Barcelona – ES projetaram um bloco operatório capaz de ser transportado a essas regiões (Adam *et al.*, 2015).

O bloco operatório modular conta com três áreas imprescindíveis que deve conter uma unidade cirúrgica de campanha: centro cirúrgico (CC), área pré/ pós-operatória e sala de vestiários e armazém, Fig. 1. O projeto da sala de operações do bloco operatório foi direcionado no desenvolvimento de um centro cirúrgico da classe I do tipo B segundo a norma UNE 100713:2005 – Instalações de condicionamento de ar em hospitais (Farrá et al. 2010). Este tipo de centro cirúrgico é denominado como convencional e possibilita a efetuação de cirurgias convencionais e de urgência. Caso for necessária uma intervenção cirúrgica com alto nível de complexidade, o paciente deve ser mantido em um estado estável até que possa ser conduzido ao hospital mais próximo.

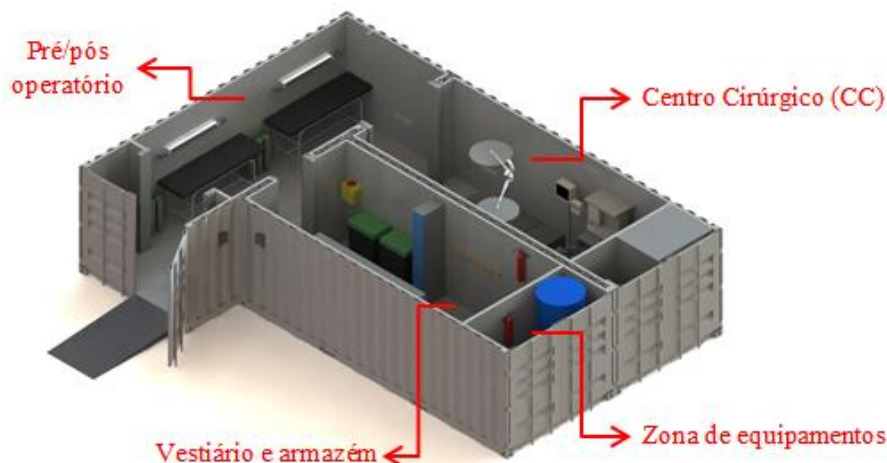


Figura 1. Vista com corte superior do bloco cirúrgico modular.

A unidade cirúrgica é construída em containers marítimos para facilitar o seu transporte, já que estes possuem dimensões padronizadas e ainda permitem que o mesmo seja modular, facilitando a sua disposição nas áreas destinadas e possibilitando o seu aumento com a utilização de mais módulos de acordo com a demanda de pacientes da região.

O bloco cirúrgico conta com as instalações elétrica e mecânica, possibilitando o seu funcionamento em qualquer situação que seja solicitado. A instalação mecânica dispõe de um sistema de climatização que é de suma importância para esse tipo de aplicação em que a qualidade do ar deve ser alta para combater a transmissão aérea de doenças e, portanto, diminuir o risco de contaminação no local. Além do mais, um bom sistema de climatização garante conforto térmico e segurança aos pacientes e para a equipe médica durante as intervenções. Entretanto o cálculo de carga térmica que foi baseado nesse projeto teve como base um método simplificado que levou a resultados aproximados e duvidosos. Por conseguinte, foi proposto um novo método para o cálculo da carga de resfriamento com a intenção de obter resultados mais precisos para, em seguida, propor um novo sistema de climatização mais confiável.

2. BLOCO CIRÚRGICO MODULAR

O bloco cirúrgico é construído em três containers marítimos. No container da área pré/ pós-operatória, encontra-se o único acesso tanto para os pacientes quanto para a equipe médica. Caso ocorra um incêndio a fuga de todas as pessoas presentes na unidade cirúrgica deverá ser feita por essa porta. Essa área é utilizada para a preparação ou repouso dos pacientes que são operados.

O centro cirúrgico possui uma pequena zona destinada à instalação de equipamentos como, por exemplo, a unidade externa do ar-condicionado e extintor de incêndio. Esta zona é separada do CC mediante uma parede, isolando-a da sala de operações devido à produção de ruídos quando está em funcionamento. Nessa sala estão situados os aparelhos e instrumentos médicos para a realização dos procedimentos como: bisturi eletrônico, desfibrilador, aparelho de anestesia, foco central, monitor multiparamétrico, mesa de operações e painel para rede de gases.

A sala de vestiário e armazém é reservada para a troca de roupas comum por roupas cirúrgicas da equipe médica e para o depósito de todos os resíduos produzidos durante as intervenções. Esta sala, igual ao módulo do centro cirúrgico, possui um espaço destinado à instalação de equipamentos, que é ocupado por um depósito de água e baterias de lítio. Na Fig.1, é possível observar que o container do CC e do vestiário e armazém possuem uma porta que os conectam com a área pré/pós-operatória permitindo a mobilidade da equipe médica por todas as áreas da unidade cirúrgica. Já o acesso às zonas de equipamento é efetuado pelas portas originais dos containers.

2.1 Aspectos Construtivos do Bloco Operatório

Os containers de carga marítima são as estruturas principais da unidade cirúrgica, são fabricados com aço corten (anticorrosivo) e não possuem qualquer tipo de ventilação ou refrigeração. Suas dimensões são: 6 x 2,4 x 2,59 [m] (comprimento x largura x altura).

As partes externas das paredes e dos tetos dos containers são revertidos por uma pintura cerâmica que aumenta a proteção contra corrosão, além de possuir elevada refletância solar (87,7%) e baixa condutividade térmica (0,033

[W/m.°C]), resultando na diminuição da carga térmica do bloco. As partes internas das paredes e dos tetos contam com isolante térmico, placas de cartão gesso e pintura vinílica. Tanto as placas quanto a pintura, facilitam a limpeza das salas e impedem a retenção de bactérias. Ademais, a pintura proporciona um acabamento com baixo odor.

Os solos dos containers são fabricados de madeira (espessura 28 [mm]). Para facilitar a limpeza e aumentar a higienização do bloco cirúrgico foi utilizado um piso de vinil (espessura 3 [mm]), comumente utilizado em solos de hospitais. Trata-se de um material de superfície lisa, resistente a fissuras, impermeável, durável e resistente ao choque. Além do mais, impede o crescimento de fungos e bactérias.

Para garantir o nivelamento do bloco cirúrgico e impedir o surgimento de umidade na base dos containers devido ao contato com o terreno, são fixadas sapatas metálicas reguláveis na parte inferior dos módulos. O terreno também deve ser nivelado e limpo para receber a unidade cirúrgica.

2.2 Isolamento Térmico e Sombreamento

O bloco operatório conta com isolamento térmico e uma cortina de sombreamento dos containers para minimizar a carga térmica e proporcionar um projeto de sistema de condicionamento de ar mais eficiente, econômico e barato. Para o isolamento térmico são utilizadas placas de espuma rígida de poliuretano com espessura de 25 [mm] que possuem baixa condutividade térmica (0,023 [W/m.°C]). A cortina de sombreamento foi desenvolvida utilizando suportes e varões fabricados em aço e lonas de PVC para cobrir os containers, evitando a incidência solar direta e diminuindo o ganho de calor por radiação nos mesmos. A Fig. 2 a seguir apresenta o mecanismo montado para um container.

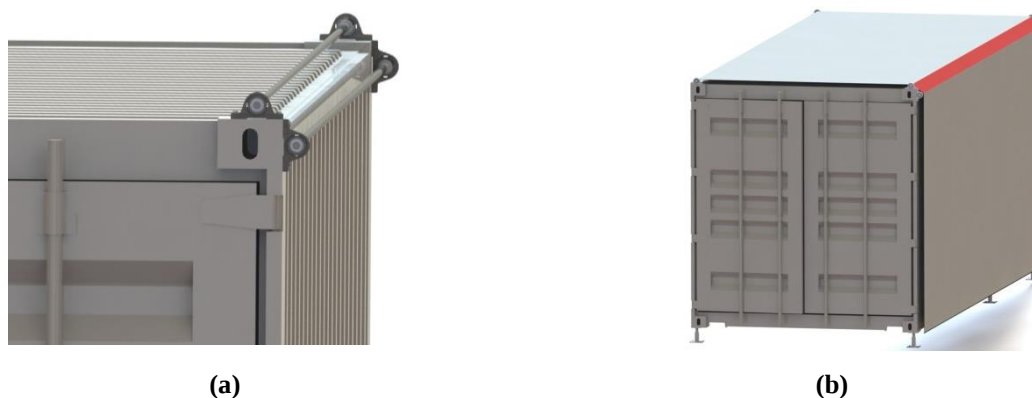


Figura 2. Cortina de sombreamento. (a) Suportes e varões instalados no container, (b) Mecanismo montado em um container.

2.3 Instalação Elétrica

A alimentação elétrica do bloco cirúrgico possui quatro possíveis fontes: rede pública, grupo eletrogêneo, baterias de lítio e painéis fotovoltaicos. Quando for possível o abastecimento energético pela rede pública, esta deve ser a fonte primária de energia. Caso o acesso a essa rede não seja viável, o grupo eletrogêneo deve ser utilizado como a principal fonte de energia. As baterias de lítio são carregadas por esses dois tipos de fontes e devem ser utilizadas apenas em caso de emergência devido alguma falha ocasionada na rede pública, no grupo eletrogêneo ou quando for necessário fazer alguma manutenção nessas duas fontes energia. Estas baterias possuem autonomia de dois dias.

Para controlar essas situações é utilizado um quadro de comando *by-pass* que troca a fonte de alimentação primária: rede pública ou grupo eletrogêneo. Também regula o abastecimento de energia enquanto as baterias estão descarregadas, para alimentá-las enquanto o resto do bloco cirúrgico é alimentado. Além disso, permite que as cargas críticas sigam funcionando com perdas de alimentação momentâneas mínimas ou sem interrupções.

Dependendo do destino do bloco cirúrgico, também podem ser utilizados painéis fotovoltaicos como fontes de energia elétrica para suprir a demanda dos equipamentos eletrônicos e da iluminação da unidade.

3. METODOLOGIA

A primeira metodologia utilizada para o cálculo de resfriamento do bloco cirúrgico foi o método simplificado. Este método é usado para efetuar o cálculo aproximado da carga térmica em residências considerando apenas o ganho de calor pela área, ocupantes e aparelhos elétricos. Basicamente são utilizadas tabelas com valores pré-determinados dos ganhos de calor segundo a área da sala que se pretende climatizar, o número de pessoas que ocupam este local e a potência de todos os equipamentos eletrônicos que estão instalados neste ambiente. O problema deste método é que não são considerados fatores importantes para o cálculo de carga térmica, como: a variação de temperatura e umidade durante o dia e a orientação das residências. Portanto, para obter um cálculo mais preciso da carga de resfriamento buscou-se um método que fosse adequado para o tipo de aplicação em questão.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 16401-1:2008 – Instalações de ar-condicionado – Sistemas Centrais e Unitários Parte 1: Projetos das instalações, para sistemas com zona única ou pequeno número de zonas, como é o caso do bloco cirúrgico, é admissível o método da Associação Americana de Engenheiros e de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE) CLTD/CLF.

O método da CLTD é utilizado para o cálculo de carga térmica e foi desenvolvido, através de dados obtidos na aplicação do método *Transfer Function Method* (TFM). Trata-se de um método manual que utiliza os valores tabelados da CLTD. Esses valores foram calculados fazendo uso do método TFM o qual proporciona as cargas de resfriamento para condições ambientais e tipos de zonas padronizadas (JARABA et al, 2007).

As fórmulas adotadas para o cálculo de ganho de calor para as cargas externas e internas a partir do método da CLTD segundo o *Handbook of Fundamentals* (ASHRAE, 2001) são apresentadas a seguir.

3.1 Ganho de Calor Para As Cargas Externas

Os ganhos de calor através da laje, parede, vidro, divisões internas, teto e piso são apresentados nas próximas seções.

3.1.1 Laje, parede e condução através de vidros

A fórmula para calcular o ganho de calor referente à laje, parede e condução de vidros é,

$$q = U.A(CLTD) \quad (1)$$

onde,

q ganho de calor, [W];

U coeficiente de transferência de calor global entre o espaço condicionado e adjacente, [W/m² °C];

A área da seção de separação em questão, [m²];

$CLTD$ diferença de temperaturas de carga de resfriamento, laje, paredes ou vidros, [°C].

3.1.2 Solar através de vidros

O ganho de calor solar através de vidros pode ser calculado a partir da fórmula a seguir,

$$q = A(SL)(SCL) \quad (2)$$

onde,

A área do vidro, [m²];

SC coeficiente de sombreamento;

SCL carga de resfriamento solar com e sem sombreamento interior, [W/m²].

3.1.3 Através de divisões internas, tetos e pisos

A taxa de transferência de calor entre um espaço condicionado adjacente a um espaço com diferença de temperatura é dada por,

$$q = U.A(t_b - t_i) \quad (3)$$

onde,

t_b temperatura média do ar no espaço adjacente, [°C];

t_i temperatura do ar no espaço condicionado, [°C].

3.2 Ganho de Calor Para As Cargas Internas

Os ganhos de calor pelos ocupantes, iluminação, equipamentos, ar de ventilação e infiltração são apresentados nas seções seguintes.

3.2.1 Ocupantes

O ganho de calor sensível proporcional às taxas representativas de calor liberado por pessoas em diferentes tipos de atividade é,

$$q_s = q_{s,ocup} \cdot CLF_{ocup} \cdot N_{ocup} \quad (4)$$

onde,

q_s ganho de calor sensível, [W];
 $q_{l,ocup}$ ganho de calor sensível por pessoa, [W];
 CLF_{ocup} fator de carga de resfriamento para pessoas;
 N_{ocup} número de pessoas no ambiente que se pretende climatizar.

O ganho de calor latente proporcional às taxas representativas de calor liberado por pessoas em diferentes tipos de atividade pode ser obtido por,

$$q_l = N_{ocup} \cdot q_{l,ocup} \quad (5)$$

onde,

q_l ganho de calor latente, [W];
 $q_{l,ocup}$ ganho de calor latente por pessoa, [W];

3.2.2 Iluminação

O ganho de calor equivalente à taxa instantânea de ganho de calor de iluminação elétrica pode ser calculado a partir de,

$$q_{el} = W \cdot F_u \cdot F_R \cdot CLF_{el} \quad (6)$$

onde,

q_{el} ganho de calor de iluminação, [W];
 W potência nominal da lâmpada, [W];
 F_u Fator de utilização;
 F_R Fator de reator;
 CLF_{el} fator de carga de resfriamento de iluminação.

3.2.3 Equipamentos

O ganho de calor proporcional às taxas típicas de ganho de calor para equipamentos é,

$$q = q_{eq} \cdot F_u \cdot F_R \cdot CLF_{eq} \quad (7)$$

onde,

q_{eq} ganho de calor do equipamento, [W];
 CLF_{eq} fator de carga de resfriamento para equipamento.

3.2.4 Ar de ventilação e infiltração

A penetração de ar externo no ambiente climatizado representa carga térmica adicional a ser removida. Esse ganho de calor pode ser intencional (ventilação de renovação) ou involuntária (infiltrações) (Pimenta, 2012). O ganho de calor sensível devido ao ar externo correspondente à variação de temperatura de bulbo seco para uma dada vazão de ar é,

$$q_s = 1,23 \cdot \dot{V} \cdot \Delta T \quad (8)$$

onde,

ΔT diferença de temperatura ar externo menos ar interno, [°C];
 Q_s vazão de ar, [m³/s].

O ganho de calor latente devido ao ar externo correspondente à variação da umidade para uma dada vazão de ar é:

$$q_l = 1,2(2500 \cdot \dot{V} \cdot \Delta U) = 3010 \cdot \dot{V} \cdot \Delta U \quad (9)$$

onde,

ΔU variação de umidade absoluta do ar externo menos o interno, [%].

As Equações (8) e (9) não distinguem no valor da vazão de ar as parcelas de ar externo devido à renovação e a infiltração. Portanto deve-se considerar,

$$\dot{V} = \dot{V}_{renovação} + \dot{V}_{infiltração} \quad (10)$$

onde,

$\dot{V}_{renovação}$ vazão de ar de renovação, [m³/s];

$\dot{V}_{infiltração}$ vazão de ar de infiltração, [m³/s].

A vazão de ar de infiltração pode ser estimada de forma simplificada como,

$$\dot{V}_{infiltração} = Vol_{sala} \times ACH_{infiltração} \quad (11)$$

onde,

Vol_{sala} volume da sala ou ambiente que se pretende climatizar, [m³];

$ACH_{infiltração}$ número de trocas de ar por hora.

O número de trocas de ar por hora pode ser obtido por,

$$ACH_{infiltração} = a + b.V + c.\Delta T \quad (12)$$

onde,

a, b, c constantes experimentais (valores tabelados segundo a qualidade da vedação da construção);

V velocidade do vento, [m/s].

4. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

Dentre as três áreas do bloco cirúrgico, as únicas que necessitam do sistema de condicionamento de ar são: centro cirúrgico e pré/pós-operatório, por serem os locais com maior circulação de pessoas e, por conseguinte, serem os ambientes que necessitam de renovação de ar e controle da temperatura para diminuir o risco de transmissão via aérea de doenças e reduzir a proliferação de fungos e bactérias.

4.1 Dados Climáticos

Vários países subdesenvolvidos possuem clima tropical, sendo assim foi escolhida a cidade Maceió/Al no Brasil como referência para obter os dados climáticos. Com o intuito de calcular a carga térmica máxima da unidade cirúrgica, foram utilizados os valores de temperatura de bulbo seco (TBS), temperatura de bulbo úmido (TBU), umidade relativa (UR), velocidade do vento (VV) e amplitude diária de temperatura para o dia mais quente do ano considerado na data de referência: 08/02, no período analisado de 1961 a 1970. Esses dados foram obtidos a partir de duas tabelas: Valores horários das características do dia típico de nível 1% (verão) e Amplitude Diária de Temperatura (Goulart *et al.* 1998). A data de referência representa o dia que apresentou declinação solar mais próxima da declinação solar média dos dias contidos no intervalo que gerou cada dia típico.

O horário registrado com maior temperatura é às 13:00 horas com TBS equivalente a 33,1 [°C] e UR de 52 [%]. A Amplitude diária de temperatura registrada corresponde a 13,6 [°C] e a VV é de 4,8 [m/s].

Os dados das condições climáticas internas referentes à TBS e a UR são retirados da norma UNE 100713:2005 (Farrás, 2010). A TBS corresponde a 22[°C] enquanto que a UR equivale a 45 [%].

4.2 Cálculo dos Coeficientes Globais de Transferência de Calor

Para calcular o ganho de calor da Eq. (1) e (3) é necessário conhecer o coeficiente global de transferência de calor para a parede, laje e piso do container. A transferência de calor através de uma parede envolve parcelas condutivas, radiantes e convectivas que podem ser correlacionadas com as resistências térmicas de cada material que compõe esta parede (Pimenta, 2012). Sendo assim, o cálculo dos coeficientes globais de transferência de calor tanto para a parede quanto para a laje e o piso do bloco cirúrgico foi realizado utilizando à associação em série das resistências térmicas de todos os materiais que estes são constituídos.

$$U_w = \frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{\sum R_i} \quad (13)$$

onde,

U_w Coeficiente global de transferência de calor para a parede, [W/m².°C];

R_{total} Somatório das resistências térmicas de cada material que compõe a parede, [m².°C/W];

R_i Resistência térmica de cada material que é constituída a parede, $i = 1, \dots, 12$.

A Tab. 1 apresenta as resistências térmicas de todos os materiais utilizados na estrutura da unidade cirúrgica.

Tabela 1. Resistências térmicas.

R_i	Descrição	Espessura [mm]	R [m^2K/W]
1	Resistência convectiva externa	-	0,059
2	Resistência convectiva interna	-	0,012
3	Pintura cerâmica	0,4	0,012
4	Chapa de aço da parede do container	3,0	$6,6 \cdot 10^{-5}$
5	Chapa de aço do piso e teto do container	4,0	$8,8 \cdot 10^{-5}$
6	Isolamento de poliuretano	25,0	1,08
7	Resistencia do espaço de ar	-	0,16
8	Placa de gesso para a parede	20,0	0,043
9	Placa de gesso para o teto	10,0	0,021
10	Espaço de ar no forro	-	0,17
11	Chapa de vinil	3,0	0,016
12	Chapa de madeira	28,0	0,12

Nos esquemas da Fig.3 são representadas as resistências térmicas, identificadas na Tab.1 de cada elemento que compõe as paredes, o teto e o piso do bloco cirúrgico. As paredes são compostas por: chapa de aço, isolamento de poliuretano, placa de gesso e pintura cerâmica. A laje é constituída pelos mesmos materiais sendo que apenas a espessura da placa de gesso e o espaço de ar são alterados. Já o piso é composto por: chapa de aço, chapa de madeira e uma chapa de vinil.

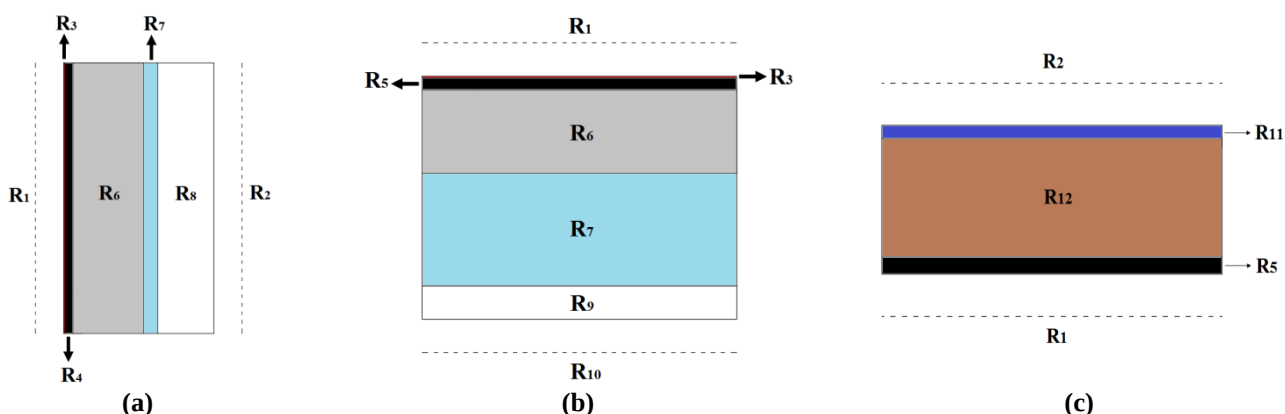


Figura 3. Construção das estruturas internas e externas do bloco cirúrgico. (a) Parede, (b) Laje, (c) Piso.

4.3 CLTD's

Para a seleção dos valores das CLTD's tanto para a laje quanto para as paredes foram utilizadas as tabelas 7-33 e 7-35 com valores de CLTD correspondentes a julho para latitude $40^\circ N$ (ASHRAE, 2001).

A CLTD da laje foi selecionada a partir da laje de número 2 da tabela 7-34 (ASHRAE, 2001) considerando o material da estrutura de aço e que a sua massa está distribuída proporcionalmente com o isolamento térmico. Para a parede foi utilizada a tabela 7-56 C (ASHRAE, 2001) que apresenta os tipos de paredes considerando que a massa da estrutura está localizada fora do isolamento térmico. Sendo assim, é selecionada a parede de número 2 considerando o material da estrutura de aço e uma polegada de espessura de madeira. Nas tabelas que dispõem os valores de CLTD, é possível verificar que durante a manhã e a noite os valores das CLTD's das paredes nas direções Norte, Sul e Oeste são menores que durante a tarde. Isto ocorre porque nesses períodos do dia essas superfícies estão relativamente sombreadas. Já para a direção leste ocorre o contrário, é no período da tarde que ocorre o sombreamento da parede voltada para essa direção.

Considerando o sombreamento das paredes e do teto do bloco cirúrgico foram selecionadas as CLTD's de 11:00 para as paredes nas direções Norte, Sul e Oeste, de 10:00 para a laje e de 21:00 para as paredes na direção Leste. Os valores de CLTD's são:

Laje = $0[^\circ C]$
 Parede norte = $-11,6[^\circ C]$
 Parede leste = $-7,2[^\circ C]$
 Parede sul = $-10[^\circ C]$
 Parede oeste = $-12,7[^\circ C]$

Os valores das tabelas 7-33 e 7-35 (ASHRAE, 2001) foram calculados com os seguintes parâmetros:

$T_{int} = 25,5 [^\circ C]$, $T_{ext} = 35 [^\circ C]$, $T_{amp,dia} = 11,6 [^\circ C]$ e $T_m = 29,4 [^\circ C]$

onde,

T_{int} Temperatura interna, [°C];

 T_{ext} Temperatura externa, [°C];

$T_{amp, dia}$ Amplitude diária de temperatura, [°C];

T_m Temperatura média, [°C].

Como a temperatura externa e interna para o bloco cirúrgico é diferente dos parâmetros apresentados, a correção dos valores da CLTD devem ser realizados com a fórmula:

$$CLTD_{corr} = CLTD + (25,5 - T_{int}) + (T_m - 29,4) \quad (14)$$

onde,

 $CLTD_{corr}$ CLTD corrigida, [°C].

4.5 Seleção das CLF's

A consideração da zona tipo C para a seleção dos valores de CLF's para pessoas, equipamentos e iluminação foi retirada da tabela 7 – 39 B (ASHRAE , 2001). Os valores de CLF's para pessoas e equipamentos são retirados da tabela 7 – 41 e para a iluminação é retirada da tabela 7- 42 considerando a zona tipo C (ASHRAE , 2001).

4.6 Número de Ocupantes e Equipamentos Elétricos

Os valores do ganho de calor latente e sensível para os ocupantes foram retirados da para atividade sedentária da tabela C.1 – Taxas típicas de calor liberado por pessoas (ABNT, 2008). Os valores do ganho de calor dos equipamentos elétricos foram retirados da tabela C.9 – Taxas típicas de dissipação de calor e umidade de alguns equipamentos comerciais – Equipamentos médicos (W) (ABNT, 2008) e para os equipamentos que não estão listados nesta tabela foi assumida a média entre os valores comuns de taxa de dissipação de calor desses aparelhos: 135 [W].

5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Uma planilha foi desenvolvida no software Microsoft Office Excel seguindo as equações apresentadas na seção: 3. METODOLOGIA, do presente trabalho, para realizar os cálculos de carga térmica da unidade cirúrgica. Nenhum dos containers possui vidros ou janelas, sendo assim o ganho de calor por fenestração (esquadria mais vidro) e por vidros equivale a zero e não são considerados no cálculo. As Tab. 2 e 3 apresentam os resumos do cálculo de carga térmica do bloco cirúrgico considerando a porta principal voltada para direção leste.

Tabela 2. Resumo do cálculo de carga térmica para o centro cirúrgico.

[illegible]

Tabela 3. Resumo do cálculo de carga térmica para área pré/pós-operatória.

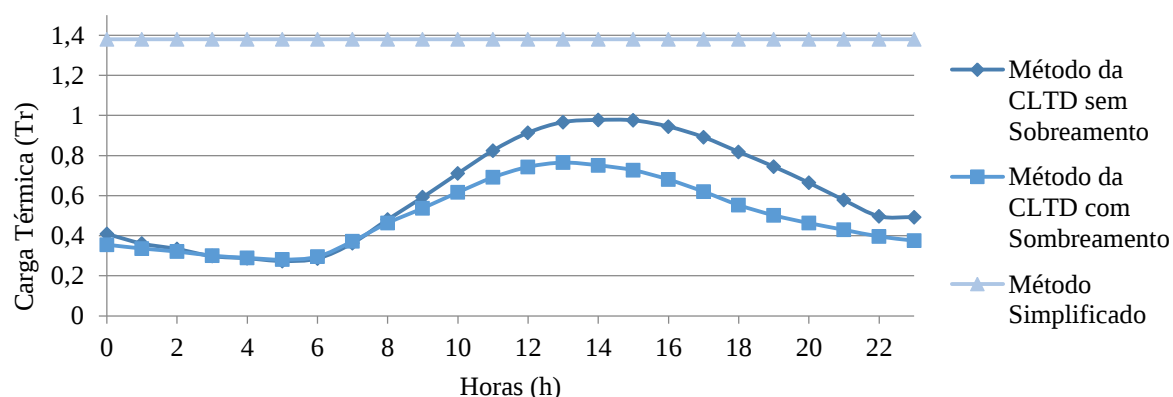
Envoltória	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	CLTD	CLTD _{cor.}	q = UA (CLTD _{corr.})	q = UAΔT	[W]
Parede Norte	6,32	0,67	-13,84	-13,55	-57,7	-	-57,7
Parede Leste	-	-	-	-	-	-	-
Parede Oeste	13,10	0,67	-16,6	-16,3	-144,2	-	-144,2
Parede Sul	6,32	0,67	-12,4	-12,1	-51,8	-	-51,8
Laje	12,35	0,66	-2,48	-2,18	-17,8	-	-17,8
Piso	12,35	3,16	-	-	-	433,47	433,4
Ocupantes	N _p 2	-	q _s 75	q _i 55	CLF 0,91	-	246,5
Iluminação	N _i 5	Potência (W) 55	F _U 1	F _R 1,2	CLF 0,93	-	306,9
Equipamentos	Quant. -	W -	F _U -	F _R -	CLF _{equip} -	-	-
Infiltração	Vedação Boa	ACH 0,27	V _{infiltração} 2,45	q _s 33,4	q _i 68,72	-	102,1
Renovação	Volume (m ³) 31,9	U _{ext} -U _{int} 0,0093	V _{renovação} 0,22	q _s 3,03	q _i 6,23	-	9,2
Carga Térmica Total							826,6

A Tab. 4 apresenta o resumo dos valores máximos de carga de térmica calculados pelo método simplificado e pelo método da CLTD. Para verificar a influência do efeito de sombreamento do bloco cirúrgico, também foi calculado a partir do método da CLTD a carga térmica máxima sem a utilização da cortina de sombreamento.

Tabela 4. Comparação dos valores de carga térmica para o bloco cirúrgico.

Áreas do bloco cirúrgico	Carga térmica com método simplificado [W] (TR)	Carga térmica com método com sombreamento da CLTD [W] (TR)	Carga térmica com método da CLTD sem sombreamento [W] (TR)
Centro cirúrgico	3270,6 (0,93)	1862,4 (0,53)	2180,4 (0,62)
Pré/pós-operatória	1582,5 (0,45)	826,6 (0,24)	1230,9 (0,35)

A Fig. 4 apresenta um gráfico que compara os valores de carga térmica calculados para o bloco operatório pelo método simplificado e pelo método da CLTD com e sem o sombreamento dos containers para o dia mais quente do ano segundo a data de referência (08/02). Os valores das CLTD's utilizados para o cálculo da carga térmica pelo método da CLTD com sombreamento tiveram a mesma redução para cada hora do dia de acordo com a consideração realizada para obter a carga térmica máxima. É possível verificar que os valores de carga térmica para o método simplificado são constantes. Isto ocorre, porque este método não considera as mudanças climáticas, ou seja, as variações de temperatura de bulbo seco e umidade relativa durante cada dia do ano não alteram os valores da carga de resfriamento dos ambientes. Além disso, esse método não leva em conta os ganhos de calor da iluminação, ventilação, infiltração, e cargas externas (laje e paredes). O valor da carga térmica para esse método é 75[%] maior que o calculado pelo método da CLTD com sombreamento para o centro cirúrgico, e 87,5[%] maior para a área pré/pós-operatória, ocasionando na seleção de um aparelho de ar condicionado que consome mais energia e, por conseguinte, mais caro.

**Figura 4. Gráfico comparativo de métodos para o dia mais quente do ano (08/02).**

Para verificar a importância de sombrear a unidade cirúrgica, também foi plotado a carga térmica referente ao bloco cirúrgico sem a cobertura dos containers. O valor da carga térmica para o bloco cirúrgico sem sombreamento é 17%

mais elevado para o centro cirúrgico e 45% maior para a área pré/ pós-operatória. Isto demonstra que a unidade cirúrgica com sombreamento possui maior economia do que o bloco cirúrgico sem sombreamento. Apesar do investimento da cortina de sombreamento ser de aproximadamente 2500,00 R\$, o valor do ar-condicionado e a economia de energia elétrica do bloco em longo prazo pode compensar esse custo inicial.

6. REFERÊNCIAS

- Adam, M.Q., Agulló, V.A., Gomes, J.G; Kelly, C. e Pozo, A.R., 2015 “Quirófano Modular”.
- ABNT, 2008. Instalações de ar-condicionado—Sistemas centrais e unitários—Parte1: Projeto das Instalações. NBR 16401-1. Brasil.
- ASHRAE, 2001, “Cooling Load Calculation”. Disponível em: <http://me.lsu.edu/~meniki/me4643/downloads/Chapter7_CoolingLoadCopy.pdf>.
- ASHRAE, 2001, “Handbook of fundamentals”, Capítulo 28.
- Farrás, M.G.R. e Martinez, A.M., 2010, “Ventilación general en hospitals”. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo. NTP 859.
- Goulart, S.V.G., Lamberts, R. e Firmino, S., 1998, “Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras”, Ed. Segunda. Florianópolis, Brasil.
- G1, 2007, “Países Pobres têm 93% das Doenças do Mundo”, Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/0,MUL156209-5603,00PAISES+POBRES+TEM+DAS+DOENCAS+DO+MUNDO+DIZ+OMS.html>>.
- Jaraba, C. R., 2007, “Estudio comparativo del método de cálculo de carga térmica para sistemas de aire acondicionado en buques”. Ciencia & Tecnología de Buque.
- Pimenta, J. M. D., 2012, “Ar Condicionado: Cálculo de Carga Térmica”, Notas de Aula, Apresentação MS PowerPoint, 251 slides.
- Sarres, C., 2013, “OMS diz que Qualidade da Saúde Melhorou nos Países Pobres, mas está Longe do Desejado”, Disponível em: <<http://www.ebc.com.br/noticias/saude/2013/05/oms-diz-que-qualidade-da-saude-melhorou-nos-paises-pobres-mas-esta-longe-do>>.
- Veja, 2010, “Infecções Hospitalares são mais Comuns em Países em Desenvolvimento”, Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/saude/infecoes-hospitalares-sao-mais-comuns-em-paises-subdesenvolvidos/>>.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

COOLING LOAD CALCULATION OF A MODULAR SURGERY BLOCK

João Gabriel Gomes de Oliveira, joao_unb_enm@hotmail.com¹

Andrea Pozo Rodriguez, andreapozo93@gmail.com²

Claire Kelly, clairekelly1993@gmail.com²

João Manoel Dias Pimenta, pimenta.joao@gmail.com¹

Marta Adam Quílez, martadamquilez@gmail.com²

Vicent Agulló de Andrés, vsagullo@gmail.com²

¹University of Brasilia, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, Brazil;

LaAR, Laboratory of Air Conditioning, www.facebook.com/UnB.LaAR/

²Escola Politécnica Superior de Engenharia de Vilanova i la Geltrú, Av. de Víctor Balaguer, Vilanova i la Geltrú, Spain.

Abstract. This paper presents a surgical block that was designed to assist underdeveloped countries or any region that has suffered natural disaster. As a consequence of low level of infrastructure these places have several problems in the health field, including inadequate surgical care. The poor quality food, insanitary housing and the lack of interest from the politics to solve these problems aggravate these difficulties. Therefore, was aimed to develop a modular surgical unit able to be transported to those places in order to solve such problems. The surgery unit has a surgery center, a dressing room and a pre/post operation area. Furthermore, it bears the entire necessary apparatus for its own operation, from medical equipment to the electrical and mechanical installations. It also contains a climatization system allowing performance of conventional and emergency surgeries. The thermal load of the surgery block was calculated based on simplified tables for the general calculation of cooling in households considering only the heat gain of occupants, electrical devices and the surgery unit floor. Then, this load was recalculated in order to obtain more accurate results using CLTD method, which is recommended for small number of zones, such as the intermodal container. This method was suitable because apart from considering the heat gains mentioned above it also took into consideration heat gains by infiltration, ventilation, walls, ceilings and lighting.

Keywords: surgery block, cooling load, container, CLTD method.