



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS – CE
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ALLYSON RAMON LIMA ESTRELA

**PROJETO DE RENOVAÇÃO DE AR COM SPLIT DAS SALAS DE AULA DO
ANDAR SUPERIOR DO BLOCO DE AULAS 6 DA UFERSA**

MOSSORÓ
2019

ALLYSON RAMON LIMA ESTRELA

**PROJETO DE RENOVAÇÃO DE AR COM SPLIT DAS SALAS DE AULA DO
ANDAR SUPERIOR DO BLOCO DE AULAS 6 DA UFERSA**

Monografia apresentada à
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Daut de Jesus Nogueira
Peixoto Couras, Prof. Me.

MOSSORÓ

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L82p Lima Estrela, Allyson Ramon.
Projeto de renovação de ar com Split das salas
de aula do andar superior do bloco de aulas 6 da
UFERSA / Allyson Ramon Lima Estrela. - 2019.
35 f. : il.

Orientador: Daut de Jesus Nogueira Peixoto
Couras.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2019.

1. Ar-Condicionado. 2. Renovação. 3. Bloco 6.
I. Peixoto Couras, Daut de Jesus Nogueira ,
orient. II. Título.

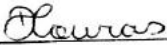
ALLYSON RAMON LIMA ESTRELA

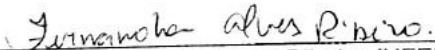
**PROJETO DE RENOVAÇÃO DE AR COM SPLIT DAS SALAS DE AULA DO
ANDAR SUPERIOR DO BLOCO DE AULAS 6 DA UFERSA**

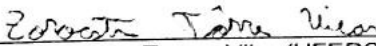
Monografia apresentada à
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Aprovada em: 21/03/2019

BANCA EXAMINADORA


Prof. Me. Daut de Jesus Nogueira Peixoto Couras (UFERSA)
Presidente


Profª. Dr. Fernanda Alves Ribeiro (UFERSA)
Membro Examinador


Profº. Dr. Zoroastro Torres Vilar (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela força e pelas bênçãos que me ajudaram a chegar até onde cheguei, pois sem a presença d'Ele em minha vida já teria desistido a muito tempo. Tudo que sou e tudo que tenho é graças a Ele.

Quero agradecer também a meus familiares em especial minha mãe, avó e pai, que sempre me apoiaram e ajudaram para que eu me mantivesse em outra cidade enquanto estudava; aos meus amigos Paulo Jr., Mateus, Daniel, Cesar que se dispuseram a me ajudar durante a realização desse trabalho nas partes das quais eu tinha pouco conhecimento, agradecer também aos meus amigos e vizinhos Lucas e André, pela amizade e sempre me ajudarem quando precisei durante o curso, a minha namorada Carolina pela compreensão e incentivo e também aos demais amigos que aqui não citei mas que também são especiais e foram importantes durante essa trajetória.

Agradeço imensamente também a meu orientador Daut por estar sempre disponível para me auxiliar e tirar minhas dúvidas para que esse trabalho fosse concluído com êxito, e aos demais professores que contribuíram para minha formação acadêmica.

RESUMO

A renovação do ar em ambientes coletivos que são refrigerados por ar-condicionado do tipo Split, é essencial quando se quer garantir o bem estar e a saúde de todos. Tendo isso em mente este trabalho foi elaborado de forma a determinar um projeto de renovação de ar para salas de aula de um bloco da própria universidade que usam esse tipo de ar-condicionado.

O trabalho foi realizado calculando-se a carga térmica e a vazão de ar adequada para que se exista a renovação de ar e a partir de tais valores equipamentos adicionais foram selecionados garantindo assim a dispersão de poluentes e gás carbônico. Os resultados atingidos foram esperados, considerando que a pratica de aplicar a renovação de ar no Brasil ainda não é muito utilizada apesar da existência das leis.

Palavras-chave: Ar-condicionado. Renovação. Bloco 6.

ABSTRACT

The renovation is done in collective environments that are cooled by split-type air conditioning, it is essential when you want to ensure the well being and health of everyone. Having this in hand was drafted in a way to do an air renovation project for classrooms one block from the university class that has this type of air conditioning.

The work was done by calculating a thermal load and an air flow so that there is a renewal of air and from a system of considerable deficits, as well as a dispersion of pollutants and carbon dioxide. The results achieved were expected, considering that the practice of applying an update in Brazil is still not very old.

Key-words: Air-conditioning. Renovation. Block 6.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Planta baixa do andar superior do Bloco de aulas 6	2
Figura 2- Esquema simples de um ar-condicionado tipo Split.....	5
Figura 3- Exemplo de insuflador.....	8
Figura 4- Dimensões consideradas dos elementos que constituem a parede .	23
Figura 5 - Dimensões consideradas dos elementos que constituem a parede	23
Figura 6 - Dimensões do ventilador do insuflador	27
Figura 7- Dimensões do insuflador na caixa de proteção	28
Figura 8- Filtro de classe F5.....	28
Figura 9- Imagem da grelha selecionada	29
Figura 10- Planta baixa da Sala Comum com o insuflador e a abertura de escape de ar.....	31
Figura 11- Planta baixa da Sala de Computadores com o insuflador e a abertura de escape de ar	31
Figura 12- Planta baixa da Sala de Desenhos com o insuflador e a abertura de escape de ar.....	32
Figura 13 - Corte lateral da Sala Comum.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação	11
Tabela 2- Eficiência da distribuição de ar nas zonas de ventilação	12
Tabela 3- Níveis de ruídos externos aceitáveis em dB(A)	13
Tabela 4- Classificação de filtros de partículas	13
Tabela 5- Classe mínima de filtração	14
Tabela 6- Resistência térmica superficial interna e externa	15
Tabela 7- Absortância para radiação solar e emissividade	16
Tabela 8- Coeficientes de convecção recomendados para paredes externas e internas	17
Tabela 9- Radiação solar global (W/m^2) planos verticais e horizontais - latitude 4°	17
Tabela 10- Fator Solar para vidros	18
Tabela 11- Fator Solar para elementos de proteção	19
Tabela 12- Taxas típicas de calor liberado por pessoas	20
Tabela 13- Taxas típicas de dissipação de calor de equipamentos de escritório - Computadores	21
Tabela 14- Especificações do insuflador selecionado	27
Tabela 15 - Cálculo das vazões a serem supridas	29
Tabela 16 - Cálculo das cargas térmicas totais	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivo específico	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1. PMOC	4
3.2. Ar-Condicionado Split.....	5
3.3. Renovação de ar	6
3.4. Insuflador de ar	7
3.5. Filtros	8
3.6. NBR 16401.....	8
3.7. Carga Térmica	9
3.8. Conforto térmico.....	10
4. METODOLOGIA	11
5. RESULTADOS	22
6. CONCLUSÃO	33
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

Desde a Portaria nº 3.523 de agosto de 1998, o ministério da saúde vem demonstrando preocupação com a qualidade do ar do interior de ambientes climatizados de uso público e coletivo, o que foi reforçado ainda mais pela Resolução - RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003 que visa determinar uma orientação técnica elaborada por um Grupo Técnico Assessor, sobre padrões referenciais de qualidade do ar interior, em ambientes climatizados artificialmente.

Os sistemas de ar-condicionado Split por si só, não possuem um sistema de renovação do ar que garanta a qualidade do mesmo apesar de ser o modelo mais comum. Infelizmente é possível notar que no Brasil poucas instalações seguem a norma no que se trata de renovação, algumas vezes por desconhecimento, outras por falta de fiscalização e até mesmo porque a instalação de um sistema de renovação encarece a instalação como um todo.

Todavia, com a chegada da Lei Nº 13.589, de 4 de Janeiro de 2018, que exige que todos os edifícios de uso público e coletivo que possuem ambientes de ar interior climatizado artificialmente disponham de um Plano de Manutenção, Operação e Controle - PMOC dos respectivos sistemas de climatização, visando à eliminação ou minimização de riscos potenciais à saúde dos ocupantes, a fiscalização parece gradativamente aumentar em todo país tornando assim de suma importância um projeto que traga melhorias aos sistemas já instalados. O PMOC visa monitorar e adequar a qualidade do ar em ambientes de uso coletivo.

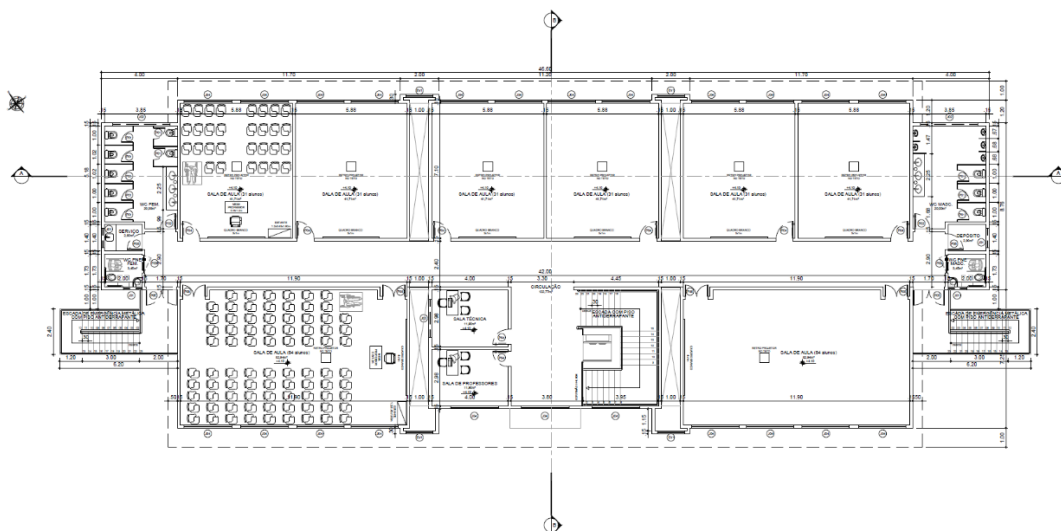
Sabendo que o descumprimento dessa lei pode acarretar em multa (de até R\$ 200.000,00 e dependendo a área de atividade da empresa pode chegar a 1,5 milhões) e processos judiciais (Segundo Lei nº 6.437, de 20 de agosto de 1977, as multas podem variar de 2.000 até 1,5 milhões de reais dependendo se a infração for leve, grave ou gravíssima), e tendo em vista que aos poucos está havendo cada vez mais fiscalização, é sensato admitir que é mais benéfico para a universidade aderir a um Plano de Manutenção, Operação e Controle condizente com as exigências, o que inclui a renovação adequada do ar em ambientes refrigerados por ar-condicionado do tipo Split, já que é um gasto programado diferente da multa.

Além do que foi citado anteriormente, outra questão importante e que evidencia a importância da renovação de ar é a questão da saúde. Em ambiente fechados sem renovação de ar existem grandes concentrações de gás carbônico e poluentes como vírus e bactérias. O uso de um PMOC ajuda a garantir que a qualidade do ar esteja satisfatória.

A principal norma utilizada para a questão de qualidade do ar e da refrigeração é a NBR 16401 que estabelece as condições mínimas exigidas para que ar tenha uma qualidade satisfatória no ambiente refrigerado.

A UFERSA utiliza no andar superior do bloco 6 ar-condicionados do tipo Split de 24.000 *BTU/h*. Esse tipo de aparelho por si só não realiza a renovação de ar, necessitando assim que equipamentos adicionais como insufladores de ar e filtros sejam acrescentados para que esta ocorra de forma satisfatória, na UFERSA não existe ainda um sistema de renovação implementado. A Figura 1 apresenta a planta baixa do andar superior do bloco estudado. Este bloco em específico possui três tipos de sala de aula a comum, de desenhos e de computadores.

Figura 1- Planta baixa do andar superior do Bloco de aulas 6



Fonte: UFERSA (2019)

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

A partir do cálculo da carga térmica das salas de aula do andar superior do bloco 6, selecionar o ar-condicionado Split adequado juntamente com um projeto de renovação de ar que atenda as exigências das normas regulamentadoras.

2.2. Objetivo específico

- Calcular a carga térmica dos três tipos salas em estudo (Sala comum, de computadores e de desenhos);
- Determinar a vazão adequada para cada ambiente de acordo com o número de pessoas e exigência de segurança adequada;
- Selecionar equipamentos que atendam às exigências de vazão de ar e ruído adequadas para as situações.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. PMOC

Segundo Antonovicz e Weber (2013), o PMOC é o Plano de Manutenção Operação e Controle, o qual é uma medida estipulada pelo Ministério da saúde em conjunto com o Ministério do Trabalho e Emprego para monitorar e adequar a qualidade do ar em ambientes de uso coletivo. Considerando a preocupação mundial com a qualidade do ar de interiores em ambientes climatizados e a ampla e crescente utilização de sistemas de ar condicionado no país, devido as condições climáticas, é obrigatório a implementação do PMOC quando um estabelecimento ultrapassa a carga térmica de 60.000 *BTU/h* (ou 5 TR). É especificado também qual o número de ocupantes de cada ambiente refrigerado e o tipo de atividade desenvolvida no local.

A empresa é analisada num panorama geral, e não apenas por setores. Ou seja, se ela atingiu a carga térmica mínima, terá de providenciar o PMOC. O PMOC estipula como devem ser feitas as inspeções e correções técnicas em cada ponto do sistema de ar condicionado, o número de ocupantes máximo de cada ambiente refrigerado, a carga térmica do equipamento e o tipo de atividade desenvolvida no local. (ANTONOVICZ; WEBER, 2013)

A Portaria do Ministério da Saúde (nº 3.523 de 28 de agosto de 1998) estabelece verificação visual do estado de limpeza; remoção de sujeiras e impurezas com produtos biodegradáveis registrados pelo mesmo Ministério; manutenção preventiva que integra a troca periódica de filtros, bem como eficiência de todos os componentes dos sistemas de climatização; padrões de qualidade do ar em ambientes climatizados; identificação dos poluentes de natureza física, química e biológica, suas tolerâncias e métodos de controle; assim como pré-requisitos de projetos de instalação e de execução de sistemas de climatização. (JOICE, 2018)

De acordo com Antonovicz e Weber (2013), ambientes fechados são obrigados a garantir renovação do ar de interior adequada dos ambientes climatizados, ou seja, no mínimo de 27 $m^3/h/pessoa$ e no caso de sistemas com capacidade acima de 5 TR (Tonelada de Refrigeração), deverão manter um responsável técnico habilitado. Cabe registrar que profissionais autônomos

podem assinar PMOC dentro de suas especificidades, isto é, não precisam necessariamente ter vínculo com uma empresa.

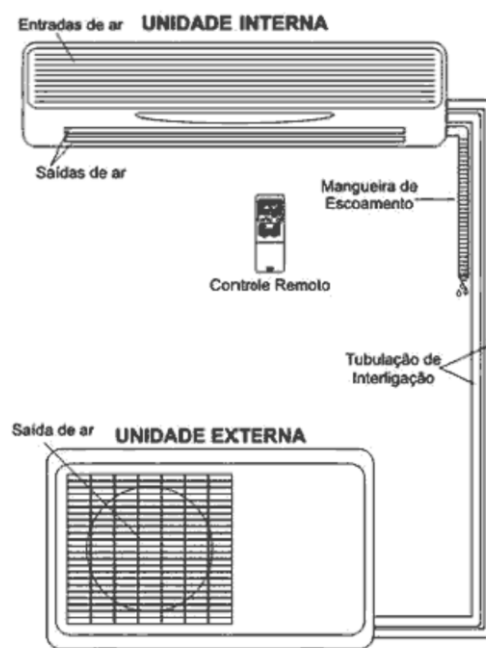
Ambientes fechados tem o ar poluído até 10 vezes mais que o ar externo, podendo chegar até 100 vezes segundo Antonovicz e Weber (2013).

3.2. Ar-Condicionado Split

Segundo Santos (2017), um diferencial do condicionador de ar do tipo Split em relação a outros modelos como o janela é o ruído da operação. Os equipamentos tipo Split são constituídos basicamente por duas partes: uma unidade evaporadora, instalada no ambiente interno que se pretende climatizar, e uma unidade condensadora, instalada na parte externa da edificação. Elas são interligadas através de tubulações de cobre onde ocorre a passagem do gás refrigerante e do dreno. O dreno é necessário para que aconteça o escoamento da água da evaporadora, que ocorre devido à condensação da umidade do ar do ambiente interno. O Split permite o deslocamento da unidade condensadora, onde fica o compressor, que geralmente é mais ruidoso, a uma distância de até 30 m do ambiente climatizado.

A Figura 2 mostra um diagrama de um ar-condicionado tipo Split.

Figura 2- Esquema simples de um ar-condicionado tipo Split



Fonte: Santos (2017)

Existem vários tipos de Split como o Hi-Wall (ou High-Wall), o Split piso-teto, cassete, window split, quatro lados, canto-teto e multisplit. (FRIGELAR, 2019)

O ar-condicionado Split do tipo Hi-Wall permite a instalação na parede. É o tipo mais comum de Split, principalmente em residências e em estabelecimentos comerciais de pequeno porte. Pode ser instalado próximo ao teto, a uma distância entre 15 e 30 cm. A distância da tubulação entre as unidades interna e externa vai depender de cada fabricante, assim como o desnível máximo entre essas duas unidades. (SANTOS, 2017)

Os modelos mais comuns de ar-condicionado Split não realizam a renovação de ar, para isso é necessário utilizar de outros equipamentos para garantir que haja tal renovação.

Para garantir que a refrigeração atinja o conforto térmico requerido, é importante conhecer a carga térmica do ambiente estudado e selecionar o aparelho de ar-condicionado de potência equivalente.

3.3. Renovação de ar

Atualmente no Brasil é utilizado um sistema individual ou coletivo de ventilação. No sistema individual é usado um ventilador com filtragem que tenha a vazão necessária para a quantidade de pessoas no ambiente; alguns são instalados na parede que tem acesso ao lado externo ou conectados em alguns tipos de Split que possuem um acessório de conexão para o duto flexível. No sistema coletivo é utilizado um ventilador em uma área comum com filtragem, e através de dutos o ar é distribuído nos ambientes que serão climatizados; a capacidade do ventilador será de acordo com a soma total dos usuários nos ambientes que receberão o ar externo. (ENGENHARIA ARQUITETURA, 2017)

Um sistema de ar condicionado com renovação pode ser dividido em duas partes, como citado anteriormente, uma parte para o tratamento e resfriamento do ar e outra para a distribuição do mesmo.

De acordo com Almeida (2008), o sistema de distribuição térmica é responsável por levar o ar depois de seu condicionamento ao ambiente de destino, assim como garantir o retorno do ar que estava no ambiente para ser condicionado. Esse tal condicionamento envolve a renovação deste ar através

de admissão do ar externo sendo misturado com o ar de retorno do ambiente, seu resfriamento (também pode ser usado para aquecimento do mesmo em alguns casos) é a partir de troca térmica com a serpentina e é realizado a filtragem. O ar condicionado é levado através de uma rede de dutos isolados termicamente até o local onde é necessário, e após a troca de calor o ar retorna através dos dutos apropriados. Normalmente, a mistura do ar de retorno com o ar exterior é efetuada em uma caixa de mistura.

Para o caso em questão o sistema citado anteriormente se torna inviável já que o custo de se construir um ambiente para realizar a filtrar e refrigerar o ar antes de ser enviado as salas de aula encareceria o projeto de sobremaneira.

Em países como EUA e os da Europa, onde os ambientes são mais hermeticamente fechados, o foco é a exaustão do ar para retirar excesso de umidade e o CO_2 do ambiente, e ter a renovação de ar seja ela forçado ou não. A nossa legislação e normas são mais voltadas para o fornecimento de ar externo tratado. (ENGENHARIA ARQUITETURA, 2017)

Um dos equipamentos que podem realizar tal renovação é o insuflador de ar.

3.4. Insuflador de ar

Os insufladores de ar são equipamentos que tem como função bombear ar de uma fonte para outra, no caso da aplicação neste projeto, será usado para bombear o ar do exterior para o interior das salas de aula com o intuito de reduzir a concentração de CO_2 e outros tipos de nocivos ao ser humano, dessa forma garantindo que o ambiente possua menos riscos à saúde das pessoas. Com o auxílio de filtros o ar exterior bombeado terá menos poluentes e os contaminantes serão expelidos pela abertura de escape.

A Figura 3 mostra um exemplo de insuflador de ar.

Figura 3- Exemplo de insuflador



Fonte: AIRFAN (2019)

3.5. Filtros

O sistema de ar-condicionado deve filtrar continuamente o material particulado trazido pelo ar exterior e os gerados internamente e transportados pelo ar recirculado, com o intuito de reduzir a acumulação de poluentes nos equipamentos e dutos do sistema, e contribuir para tornar a concentração de poluentes no recinto em níveis aceitáveis. Por isso é tão importante selecionar o filtro correto para a aplicação necessária. (ABNT 16401-3, 2008)

3.6. NBR 16401

Essa norma substituiu a NBR 6401 e estabelece as condições mínimas exigidas para que se possam obter resultados satisfatórios em instalações de unidades de condicionamento de ar utilizando parâmetro como temperatura do ar no termômetro de bulbo seco, umidade relativa do ar, movimentação do ar, grau de pureza do ar, nível de ruído admissível e a porcentagem ou volume de renovação de ar. Essa norma é dividida em três partes.

A primeira delas se trata do projeto de instalações, ela estabelece os parâmetros básicos e os requisitos mínimos de projeto para sistemas de ar-condicionado centrais e unitários.

Na segunda parte o foco é nos parâmetros de conforto térmico. Ela trata de uma parte bem delicada, já que garantir o conforto térmico é algo subjetivo, pois

dependendo da pessoa esse parâmetro pode ser diferente, então a norma trabalha com condições que agradam pelo menos 80% de um grupo homogêneo com diversos tipos de roupa e quantidade de atividade física praticada.

A terceira e última parte, tem como objetivo estabelecer parâmetros da qualidade de ar interior. Ela visa obter uma qualidade aceitável de ar interior para conforto definindo parâmetros como a vazão mínima de ar exterior para ventilação, níveis mínimos de filtragem de ar e requisitos técnicos dos sistemas e componentes relativos a qualidade do ar interior.

3.7. Carga Térmica

Segundo Strobel (2019), a carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente, que deve ser retirada (no caso do resfriamento) ou colocada (no caso do aquecimento) no recinto a fim de proporcionar as condições de conforto desejada, ou manter as condições do ambiente adequadas para a conservação de um produto ou para realização de um processo de fabricação.

O conhecimento da carga térmica é básico para:

- Dimensionar a instalação;
- Selecionar equipamentos;
- Avaliar o funcionamento de equipamentos existentes ou a serem adquiridos;
- Avaliar as modificações necessárias ao sistema que beneficia ambientes, cuja finalidade venha ser alterada.

O ganho de calor que é transmitido para o ambiente é devido aos seguintes fatores:

- Radiação solar através de superfícies transparentes como por exemplo, vidros das janelas;
- Condução de calor através das paredes externas e telhados;
- Condução de calor através das paredes internas, divisórias, tetos e pisos;
- Calor gerado dentro do ambiente pelos ocupantes (luzes, equipamentos, desenvolvimento de processos ou qualquer outra fonte geradora de calor);

- Calor proveniente da ventilação (ar exterior) e infiltração de ar exterior;
- Calor gerado por outras fontes.

3.8. Conforto térmico

De acordo com Strobél (2019), o conforto térmico é o estado mental que o ser humano sente satisfação a respeito do ambiente que o circunda.

Segundo ABNT (2008), os parâmetros de conforto térmico são:

- No verão 22,5 a 25,5°C a 65% de umidade relativa e 23 a 26°C para umidade relativa de 35%;
- No inverno 21 a 23,5°C para umidade relativa de 60% e 21,5 a 24°C para 30% de umidade relativa.

4. METODOLOGIA

Inicialmente a vazão necessária para que a renovação do ar ocorra de forma aceitável deve ser calculada. A vazão deve ser calculada respeitando a NBR 16401-3 de 2008 de forma que primeiramente é calculada a Vazão Eficaz na forma de:

$$V_{ef} = P_z * F_p + A_z * F_a \quad (1)$$

Onde V_{ef} é a vazão eficaz (L/s), F_p a vazão por pessoa (L/s.pessoas), F_a a vazão por área útil (L/s.m²), P_z o número máximo de pessoas na zona de ventilação e A_z a área ocupada pelas pessoas (m²). F_p e F_a são dados escolhidos a partir da Tabela 1.

Tabela 1- Vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação

Local	D pessoas/ 100 m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m ² ^a
		F _p L/s*pess.	F _a L/s*m ²	F _p L/s*pess.	F _a L/s*m ²	F _p L/s*pess.	F _a L/s*m ²	
Edifícios públicos								
Aeroporto – saguão ^c	15	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Aeroporto – sala de embarque ^c	100	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Biblioteca	10	2,5	0,6	3,5	0,8	3,8	0,9	--
Museu, galeria de arte ^d	40	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Local de culto	120	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Legislativo – plenário	50	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório – lobby	150	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório e platéia	150	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório – palco	70	5	0,3	6,3	0,4	7,5	0,5	--
Tribunal – sala de audiências	70	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Esportes								
Boliche – área do público	40	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Ginásio coberto (área do público)	150	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Ginásio coberto (quadra)	--	--	0,3	--	0,4	--	0,5	--
Piscina coberta ^e	--	--	2,4	--	3,0	--	3,6	2,5
"Fitness center" – aeróbica	40	10	0,3	12,5	0,4	15,0	0,5	--
"Fitness center" – aparelhos	10	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Estabelecimentos de ensino								
Sala de aula	35	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Laboratório de informática	25	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Laboratório de ciências	25	5	0,9	6,3	1,1	7,5	1,4	5,0
Hotéis								
Apartamento de hóspedes	.	5,5	--	6,9	--	10,3	--	--
Banheiro privativo	--	--	--	--	--	--	--	2,5/unid.
Lobby, sala de estar	30	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Sala de convenções	120	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Dormitório coletivo	20	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--

Fonte: NBR 16401-3 (2008)

Tendo essa vazão, será necessário calcular a Vazão a ser suprida, que é o valor corrigido pela eficiência da distribuição de ar.

$$V_z = V_{ef}/E_z \quad (2)$$

Sendo V_z a vazão de ar exterior a ser suprida na zona de ventilação e E_z a eficiência da distribuição de ar. E_z é dado na Tabela 2 demonstrada a seguir.

Tabela 2- Eficiência da distribuição de ar nas zonas de ventilação

Configuração da distribuição de ar	E_z
Insuflação de ar frio pelo forro	1,0
Insuflação de ar quente pelo forro e retorno pelo piso	1,0
Insuflação de ar quente pelo forro, 8°C ou mais acima da temperatura do espaço e retorno pelo forro	0,8
Insuflação de ar quente pelo forro a menos de 8°C acima da temperatura do espaço pelo forro, desde que o jato de ar insuflado alcance uma distância de 1,4 m do piso à velocidade de 0,8 m/s	1,0
Insuflação de ar frio pelo piso e retorno pelo forro, desde que o jato de ar insuflado alcance uma distância de 1,4 m ou mais do piso à velocidade de 0,8 m/s	1,0
Insuflação de ar frio pelo piso, com fluxo de deslocamento a baixa velocidade e estratificação térmica, e retorno pelo forro	1,2
Insuflação de ar quente pelo piso e retorno pelo piso	1,0
Insuflação de ar quente pelo piso e retorno pelo forro	0,7
Ar de reposição suprido do lado oposto à exaustão ou ao retorno	0,8
Ar de reposição suprido à proximidade da exaustão ou do retorno	0,5

Fonte: NBR 16401-3 (2008)

A partir dos valores de vazão encontrados é necessário selecionar um insuflador que atenda a vazão necessária para cada ambiente, no entanto é importante também ter em vista o nível de ruído do novo equipamento, por isso a Tabela 3 da Norma NBR 10151 foi utilizada.

Tabela 3- Níveis de ruídos externos aceitáveis em dB(A)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10151 (2000)

Conhecendo o nível de ruído e a vazão para cada sala, foi determinado um insuflador adequado para a situação.

A próxima etapa é selecionar um filtro adequado, já que o ar exterior pode estar contaminado com algum poluente. A Tabela 4 indica as classes de filtros existentes.

Tabela 4- Classificação de filtros de partículas

Tipo de filtros	Classe	Eficiência gravimétrica média <i>Eg</i> %	Eficiência média para partículas de 0,4 µm <i>Ef</i> %
Grossos	G 1	$50 \leq Eg < 65$	---
	G 2	$65 \leq Eg < 80$	---
	G 3	$80 \leq Eg < 90$	---
	G 4	$90 \leq Eg$	---
Finos	F 5	---	$40 \leq Ef < 60$
	F 6	---	$60 \leq Ef < 80$
	F 7	---	$80 \leq Ef < 90$
	F 8	---	$90 \leq Ef < 95$
	F 9	---	$95 \leq Ef$

Fonte: NBR 16401-3 (2008)

Existem filtros específicos para as mais diversas aplicações e ambientes, assim com o auxílio da Tabela 5 é possível selecionar o filtro adequado para salas de aula.

Tabela 5- Classe mínima de filtragem

Aplicação típica	Classe
Supermercado, <i>mall</i> de centros comerciais, agências bancárias e de correios, lojas comerciais e de serviços	G4
Escritórios, sala de reunião, CPD, sala de digitação, <i>call center</i> , consultórios	F5
Aeroporto – saguão, salas de embarque	F5
Aeroporto - torre de controle	G3 + F6
Biblioteca, museu – áreas do público	F5
Biblioteca, museu – exposição e depósito de obras sensíveis	G3 + F8
Hotéis 3 estrelas ou mais - apartamentos, <i>lobby</i> , salas de estar, salões de convenções	F5
Hotéis - outros, motéis - apartamentos	G4
Teatro, cinema, auditório, locais de culto, sala de aula	F5
Lanchonete, cafeteria	G4
Restaurante, bar, salão de coquetel, discoteca, danceteria, salão de festas, salão de jogos	F5
Ginásio (áreas do público), <i>fitness center</i> , boliche, jogos eletrônicos	G4
Centrais telefônicas – sala de comutação	G3 + F6
Residências	G3
Sala de controle – ambiente eletrônico sensível	G3 + F6
Impressão – litografia, <i>offset</i>	G3 + F7
Impressão - processamento de filmes	G3 + F8

Fonte: NBR 16401-3 (2008)

Com o auxílio das plantas do Bloco 6, e alguns outros arquivos como ficha técnica do retro projetor, foi possível colher a maioria dos dados necessários para o cálculo da carga térmica.

O primeiro passo foi calcular a Carga térmica externa, que pode ser determinada da seguinte forma:

$$q_1 = U.A.\Delta T \quad (3)$$

Onde q_1 é a carga térmica (W), A a área (m^2), ΔT a diferença de temperatura entre o exterior e o interior (K) e U a transmitância térmica (W/m^2K).

Para obter o valor da Transmitância térmica, é necessário obter a resistência total da parede. Ela é expressa como:

$$R_T = R_{SE} + R_t + R_{SI} \quad (4)$$

Sendo R_T a resistência total, R_t a resistência térmica de superfície a superfície e R_{SE} e R_{SI} as resistências superficiais externas e internas respectivamente, todas na unidade m^2K/W . R_{SE} e R_{SI} podem ser obtidos através da Tabela 6, enquanto R_t é obtido da seguinte maneira:

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (5)$$

Sendo os R 's as resistências térmicas de superfície a superfície de cada seção (m^2K/W) e os A 's as áreas de cada seção (m^2).

As resistências são dadas por:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (6)$$

Sendo e é a espessura do material (m) e λ a condutividade térmica ($W/m.K$).

Tabela 6- Resistência térmica superficial interna e externa

$R_{si} (m^2.K)/W$			$R_{se} (m^2.K)/W$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
					
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220 (2003)

A segunda parcela da Carga térmica a ser obtida é a Carga térmica devido a insolação, que pode ser calculada para superfícies opacas ou translúcidas. As expressões responsáveis pela obtenção desses valores são respectivamente:

$$q_2 = U \cdot A \left(\frac{\alpha I_g}{h_e} + \Delta T \right) \quad (8)$$

$$q_3 = A(F_{SO}I_g + U\Delta T) \quad (9)$$

Onde q_2 e q_3 são as cargas térmicas (W), A a área da superfície (m^2), ΔT a diferença de temperatura entre o exterior e o interior (K), U a transmitância térmica ($W/m^2 K$), α o coeficiente de absorção de radiação solar (adimensional), I_g a intensidade de radiação solar incidente global (W/m^2), h_e o coeficiente de transferência de calor externo ($W/m^2 K$) e F_{SO} o Fator solar (adimensional). O valor de α é obtido com o auxílio da Tabela 7; o h_e com a Tabela 8 e o I_g através da Tabela 9, sabendo que as salas comuns estão na posição nordeste, e as demais estão na posição sudeste (segundo a planta do bloco) e a latitude de Mossoró é de 5° (De acordo com Mossoró,... (2019)) e a tabela mais próxima encontrada foi a de latitude 4°. O F_{SO} é calculado a partir das Tabelas 10 e 11.

Tabela 7- Absortância para radiação solar e emissividade

Tipo de superfície		α	ε
Chapa de alumínio (nova e brilhante)		0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25	0,25
Caiação nova		0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro		0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro		0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico		0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor		0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido		0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado		0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:	Branca	0,20	0,90
	Amarela	0,30	0,90
	Verde clara	0,40	0,90
	"Alumínio"	0,40	0,50
	Verde escura	0,70	0,90
	Vermelha	0,74	0,90
Preta		0,97	0,90

Fonte: NBR 15220 (2003)

Tabela 8- Coeficientes de convecção recomendados para paredes externas e internas

Sentido do fluxo	Paredes exteriores		Paredes interiores		Paredes exteriores sujeitas a vento		
	h_i	h_e	h_i	h_e	Tipo de vento	Velocidade (m/s)	h_e
	(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)			(W/m ² K)
Horizontal	8	20	8	8	Fraco	1	13
Vert. Ascendente	11	20	10	10	Médio	3	21
Vert. Descendente	6	20	6	6	Forte	9	35

Fonte: Strobel (2019)

Tabela 9- Radiação solar global (W/m²) planos verticais e horizontais - latitude 4°

	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	
S	26	222	321	365	386	402	400	402	386	365	321	222	26	22 de dezembro
SE	57	480	664	691	598	476	303	129	60	55	48	33	5	
L	57	476	647	626	495	311	68	65	60	55	48	33	5	
NE	25	207	278	239	137	65	68	65	60	55	48	33	5	
N	5	33	48	55	60	65	68	65	60	55	48	33	5	
NO	5	33	48	55	60	65	68	65	137	239	278	207	25	
O	5	33	48	55	60	65	68	311	495	626	647	476	57	
SO	5	33	48	55	60	129	303	476	598	691	664	480	57	
H	13	203	462	704	902	1018	1072	1018	902	704	462	203	13	22 de março 22 de setembro
S	0	30	48	55	63	68	65	68	63	55	48	30	0	
SE	16	344	498	473	365	205	65	68	63	55	48	30	0	
L	22	481	710	690	548	328	65	68	63	55	48	30	0	
NE	16	355	535	534	447	298	123	68	63	55	48	30	0	
N	0	38	73	99	121	134	130	134	121	99	73	38	0	
NO	0	30	48	55	63	68	123	298	447	534	535	355	16	
O	0	30	48	55	63	68	65	328	548	690	710	481	22	
SO	0	30	48	55	63	68	65	205	365	473	498	344	16	21 de junho
H	0	180	477	747	960	1100	1139	1100	960	747	477	180	0	
S	-	28	45	53	58	63	63	63	58	53	45	28	-	
SE	-	166	230	178	63	63	63	63	58	53	45	28	-	
L	-	380	608	605	713	288	63	63	58	53	45	28	-	
NE	-	404	657	708	651	533	380	214	58	53	45	28	-	
N	-	196	347	428	474	502	511	502	474	428	347	196	-	
NO	-	28	45	53	58	214	380	533	651	708	657	404	-	
O	-	28	45	53	58	63	63	288	713	605	608	380	-	
SO	-	28	45	53	58	63	63	63	178	230	166	-	-	
H	-	200	406	642	834	957	991	957	834	642	406	200	-	

Fonte: Strobel (2019)

Tabela 10- Fator Solar para vidros

Tipo de vidro	Fator solar
Vidro comum transparente de uma lâmina	0,86
Vidro cinza sombra de uma lâmina	0,66
Vidro atérmico verde claro de uma lâmina	0,6
Vidro atérmico verde escuro de uma lâmina	0,49
Vidro cinza sombra usado com vidro comum transparente	0,45
Vidro atérmico verde claro usado com vidro comum transparente	0,39
Vidro atérmico verde escuro usado com vidro comum transparente	0,22

Fonte: Strobel (2019)

Tabela 11- Fator Solar para elementos de proteção

Tipo de proteção	Cor do elemento			
	Clara	Média	Escura	Preta
Persiana externa de madeira de 1cm, vertical	0,05	0,08	0,1	0,13
Persiana externa de madeira de 2cm, vertical	0,04	0,07	0,09	0,11
Persiana externa metálica, vertical	0,07	0,1	0,13	0,16
Persiana externa de madeira, projetada à italiana	0,09	0,09	0,1	0,11
Persiana externa metálica, projetada à italiana	0,1	0,11	0,12	0,14
Veneziana entre vidros, de lâminas a 45°	0,24	0,31	0,38	0,44
Cortina opaca entre vidros	0,21	0,28	0,36	0,43
Cortina pouco transparente entre vidros	0,24	0,32	0,4	-
Persiana interna de lâminas finas, vertical	0,39	0,5	0,6	0,7
Persiana interna de lâminas finas, a 45°	0,51	0,62	0,7	0,76
Cortina interna opaca	0,34	0,45	0,57	0,66
Cortina interna pouco transparente	0,36	0,47	0,59	-
Cortina interna muito transparente	0,39	0,5	0,51	-

Fonte: Strobel (2019)

A próxima carga térmica a ser calculada é a gerada pela presença de pessoas. Ela pode ser obtida de acordo com a Equação 10. A taxa de calor liberada por pessoa é obtida através da Tabela 12.

$$q_p = n.M \quad (10)$$

Sendo n o número de pessoas (adimensional) e M a taxa de calor liberada por pessoa (W).

Tabela 12- Taxas típicas de calor liberado por pessoas

Nível de atividade	Local	Calor total (W)		Calor Sensível (W)	Calor latente (W)	% Radiante do calor sensível	
		Homem adulto	Ajustado M/F ^a			Baixa velocidade do ar	Alta velocidade do ar
Sentado no teatro	Teatro matinê	115	95	65	30		
Sentado no teatro, noite	Teatro noite	115	105	70	35	60	27
Sentado, trabalho leve	Escritórios, hotéis, apartamentos	130	115	70	45		
Atividade moderada em trabalhos de escritório	Escritórios, hotéis, apartamentos	140	130	75	55		
Parado em pé, trabalho moderado; caminhando	Loja de varejo ou de departamentos	160	130	75	55	58	38
Caminhando, parado em pé	Farmácia, agência bancária	160	145	75	70		
Trabalho sedentário	Restaurante ^b	145	160	80	80		
Trabalho leve em bancada	Fábrica	235	220	80	140		
Dançando moderadamente	Salão de baile	265	250	90	160	49	35
Caminhando 4,8 km/h; trabalho leve em máquina operatriz	Fábrica	295	295	110	185		
Jogando boliche ^c	Boliche	440	425	170	255		
Trabalho pesado	Fábrica	440	425	170	255	54	19
Trabalho pesado em máquina operatriz; carregando carga	Fábrica	470	470	185	285		
Praticando esportes	Ginásio, academia	585	525	210	315		

Fonte: NBR 16401-1 (2008)

Existe ainda mais uma fonte de calor, que é a liberada por aparelhos elétricos utilizados no local, ela é estimada a partir dos dados das potências dos equipamentos em questão. Para computadores, a Tabela 13 pode ser utilizada para estimar tal potência.

Tabela 13- Taxas típicas de dissipação de calor de equipamentos de escritório - Computadores

Computadores	Uso contínuo W	Modo economizador W
Computadores		
Valor médio	55	20
Valor com fator de segurança	65	25
Valor com fator de segurança alto	75	30
Monitores		
Pequeno (13 pol. a 15 pol.)	55	0
Médio (16 pol. a 18 pol.)	70	0
Grande (19 pol. a 20 pol.)	80	0

Fonte: NBR 16401-1 (2008)

A Carga térmica total será expressa através de:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + q_p + q_e \quad (11)$$

Com esse dado é possível selecionar o ar-condicionado adequado para suprir a demanda.

5. RESULTADOS

Conhecendo a metodologia é possível aplicar os dados coletados a respeito dos três tipos de sala existentes no bloco de salas de aula 6 da UFERSA.

Assim, com as áreas, o número de pessoas por sala e considerando o nível 2 da Tabela 1 teremos:

$$V_{ef} = 33 * 6,3 + 41,75 * 0,8 = 241,3 \text{ L/s} \quad (\text{Sala Comum})$$

$$V_{ef} = 27 * 6,3 + 84,5 * 0,8 = 237,7 \text{ L/s} \quad (\text{Sala de Computadores})$$

$$V_{ef} = 31 * 6,3 + 84,5 * 0,8 = 262,9 \text{ L/s} \quad (\text{Sala de Desenhos})$$

A seguir são apresentados os cálculos considerando o valor de E_z 0,8, já que o insuflador ficará em posição oposta a abertura de escape:

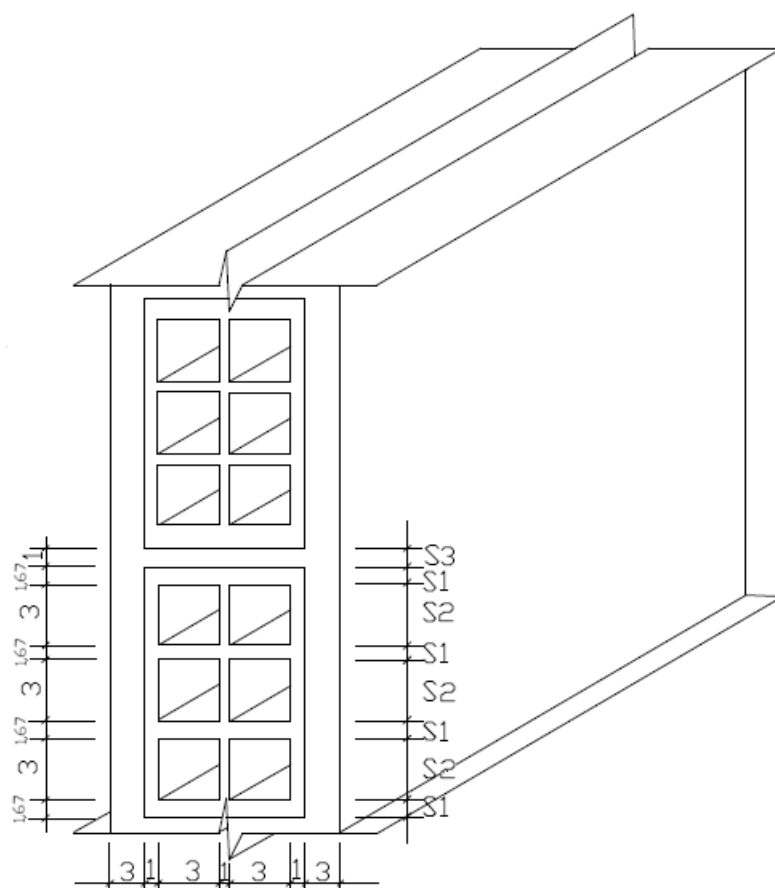
$$V_z = 241,3/0,8 = 301,6 \text{ L/s} \quad (\text{Sala Comum})$$

$$V_z = 237,7/0,8 = 297,1 \text{ L/s} \quad (\text{Sala de Computadores})$$

$$V_z = 262,9/0,8 = 328,6 \text{ L/s} \quad (\text{Sala de Desenhos})$$

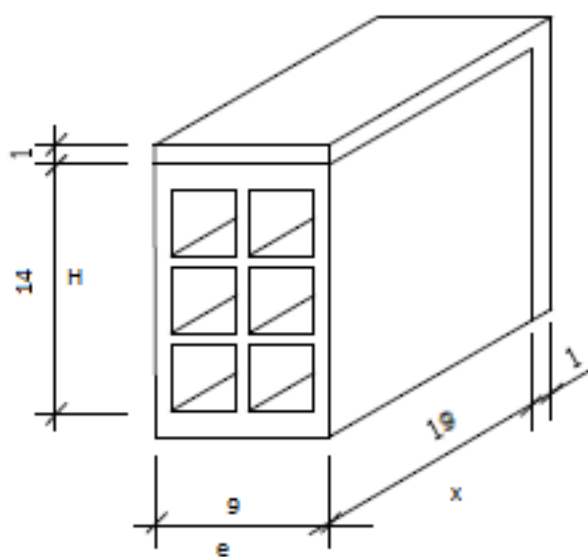
Para o cálculo da resistência foi considerado que o layout da parede era o mostrado pelas Figuras 4 e 5. A partir dos dados das Figuras 4 e 5, e os valores de condutividade térmica retirados da norma 15220 a memória de cálculo é demonstrada adiante.

Figura 4- Dimensões consideradas dos elementos que constituem a parede



Fonte: Autoria própria adaptado de NBR 15220 (2003)

Figura 5 - Dimensões consideradas dos elementos que constituem a parede



Fonte: Autoria própria adaptado de NBR 15220 (2003)

De acordo com a equação 6...

$$R_1 = \frac{0,09}{0,9} = 0,1 \text{ m}^2 K/W \quad (\text{Seção 1 Tijolo})$$

$$A_1 = 0,0167 * 0,19 = 0,0031 \text{ m}^2 \quad (\text{Seção 1})$$

$$R_2 = 3 * \left(\frac{0,01}{0,9} \right) + (2 * 0,16) = 0,353 \text{ m}^2 K/W \quad (\text{Seção 2 Tijolo, ar, tijolo, ar, tijolo})$$

$$A_2 = 0,03 * 0,19 = 0,0057 \text{ m}^2 \quad (\text{Seção 2})$$

$$R_3 = 2 * \left(\frac{0,03}{1,15} \right) + \left(\frac{0,09}{1,15} \right) = 0,13 \text{ m}^2 K/W \quad (\text{Seção 3 Reboco, argamassa, reboco})$$

$$A_3 = (0,01 * 0,19) + (0,15 * 0,01) = 0,0034 \text{ m}^2 \quad (\text{Seção 3})$$

Dessa forma, utilizando a Equação 5 é possível somar as diversas resistências, começando pelo tijolo:

$$R_{tijolo} = \frac{(4 * 0,0031) + (3 * 0,0057)}{(4 * \frac{0,0031}{0,1}) + (3 * \frac{0,0057}{0,353})} = 0,17 \text{ m}^2 K/W \quad (\text{Tijolo})$$

$$A_{tijolo} = 0,14 * 0,19 = 0,0266 \text{ m}^2 \quad (\text{Tijolo})$$

$$R_{tijolo+reboco} = \frac{0,0266 + (2 * 0,0034)}{\frac{0,0266}{0,17} + (2 * \frac{0,0034}{0,13})} = 0,21 \text{ m}^2 K/W \quad (\text{Tijolo + reboco})$$

Com a ajuda da expressão 4 é possível chegar ao valor da Resistência total da parede, considerando o fluxo de vento na horizontal em relação a parede:

$$R_T = 0,13 + 0,21 + 0,04 = 0,38 \text{ m}^2 K/W \quad (\text{Resistência total da parede})$$

A transmitância térmica é 1 sobre o valor de R_T , assim:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (7)$$

Dessa forma, o valor de U será:

$$U = \frac{1}{0,38} = 2,66 \text{ W/m}^2 K$$

Assim é possível obter a primeira parcela de Carga térmica para cada sala. A temperatura máxima do lado exterior foi estipulada como sendo 36°C (Segundo Weather Spark (2019)) e a temperatura da sala como 22,5°C (De acordo com a Norma 16401-2 que fala que esta é a temperatura de conforto térmico para o verão com umidade relativa de 65%)

Dessa forma o cálculo dessa carga térmica para cada um dos tipos de sala são demonstrados aplicando os valores na Equação 3:

$$q_1 = 2,66 * 17,64 * 13,5 = 633,7 \text{ W} \quad (\text{Sala Comum})$$

$$q_1 = 2,66 * 35,7 * 13,5 = 1282,5 \text{ W} \quad (\text{Sala de Computadores})$$

$$q_1 = 2,66 * 35,7 * 13,5 = 1282,5 \text{ W} \quad (\text{Sala de Desenhos})$$

Os cálculo utilizando as Equações 7 e 8 são demonstrados a seguir.

A carga térmica devido a insolação para superfícies opacas sabendo que, as paredes que estão em contato com o lado externo estão voltadas para o NE (no caso das salas comuns) e SO (no caso das salas de desenho e computadores), as paredes externas são brancas e o fluxo de vento está no sentido horizontal, é calculada a seguir:

$$q_2 = 2,66 * 12,64 * \left(\frac{0,2 * 708}{20} + 13,5 \right) = 692,2 \text{ W} \quad (\text{Sala Comum})$$

$$q_2 = 2,66 * 25,7 * \left(\frac{0,2 * 691}{20} + 13,5 \right) = 1395,8 \text{ W} \quad (\text{Sala de Computadores})$$

$$q_2 = 2,66 * 25,7 * \left(\frac{0,2 * 691}{20} + 13,5 \right) = 1395,8 \text{ W} \quad (\text{Sala de Desenhos})$$

Tendo em vista que a sala possui vidros comuns e proteção externa metálica a italiana, é possível afirmar que a carga térmica devido a insolação para superfícies translúcidas será:

$$q_3 = 5 * (0,81 * 708 + 2,66 * 13,5) = 3081,2 \text{ W} \quad (\text{Sala Comum})$$

$$q_3 = 10 * (0,81 * 691 + 2,66 * 13,5) = 6033,25 \text{ W} \quad (\text{Sala de Computadores})$$

$$q_3 = 10 * (0,81 * 691 + 2,66 * 13,5) = 6033,25 \text{ W} \quad (\text{Sala de Desenhos})$$

O cálculo da carga térmica advindo das pessoas é mostrado adiante, considerando que as pessoas estão sentadas e fazendo atividades leves:

$$q_p = 33 * 130 = 4290 \text{ W} \quad (\text{Sala Comum})$$

$$q_p = 27 * 130 = 3510 \text{ W} \quad (\text{Sala de Computadores})$$

$$q_p = 31 * 130 = 4030 \text{ W} \quad (\text{Sala de Desenhos})$$

A carga térmica a partir de equipamentos elétricos é constituída, no caso em questão, por lâmpadas (A potência das lâmpadas foi considerada 23 W por lâmpada), computador (Dados coletados da Tabela 13) e retro projetor (Que de acordo com o manual tem potência equivalente a 270 W), dessa forma os cálculos a seguir demonstram o valor desta carga térmica.

$$q_e = 270 + (23 * 16) + 65 = 703 \text{ W} \quad (\text{Sala Comum})$$

$$q_e = 270 + (23 * 30) + (65 * 27) = 2715 \text{ W} \quad (\text{Sala de Computadores})$$

$$q_e = 270 + (23 * 30) + 65 = 1025 \text{ W} \quad (\text{Sala de Desenhos})$$

Depois de terem sido calculadas as diversas cargas térmicas, é hora de aplicá-las usando a Equação 11.

$$Q = 633,7 + 692,2 + 3081,2 + 4290 + 703 = 9400 \text{ W} \quad (\text{Sala Comum})$$

$$Q = 1282,5 + 1395,8 + 6033,25 + 3510 + 2715 = 14936 \text{ W}$$

(Sala de Computadores)

$$Q = 1282,5 + 1395,8 + 6033,25 + 4030 + 1025 = 13766 \text{ W}$$

(Sala de Desenhos)

Assim, o aparelho selecionado para insuflar o ar exterior foi o Insuflador ACC 9/7 – 6 devido a sua vazão de ar e nível de ruído, suas características técnicas se encontram na Tabela 14 a seguir. As Figuras 6 e 7 demonstram as dimensões desse insuflador. O insuflador de ar ficará posicionado no canto da sala entre a parede lateral e a parede exterior sobre o forro para não ocupar o mesmo espaço ocupado pelas pessoas; enquanto a abertura para saída de ar (de 232x232 mm)

ficará acima da porta, roubando assim, um pouco de calor do corredor. Esse posicionamento foi escolhido para que o local de captação de ar seja o máximo possível distante do de descarga.

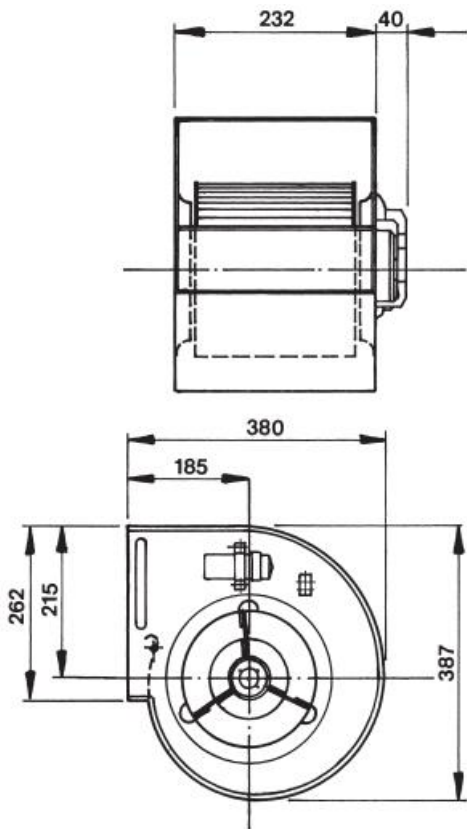
Tabela 14- Especificações do insuflador selecionado

Motore	Potenza motore	Corr.di targa	Corrente max	Tem.Aria amb.	Tensione	Fase	Hz.	Prot.	TH Prot.	L.P.S.	Classe isol.
APERTO	W.147	A.1,5	A.1,9	min -20°C max+40°C	V.240	1	50	IP 20	No	dB(A) ad 1mt	B

Tipo	rpm	m³/h	Hst	dB(A)	Kg
ACC 9/7-6	900	1300	19	47	28

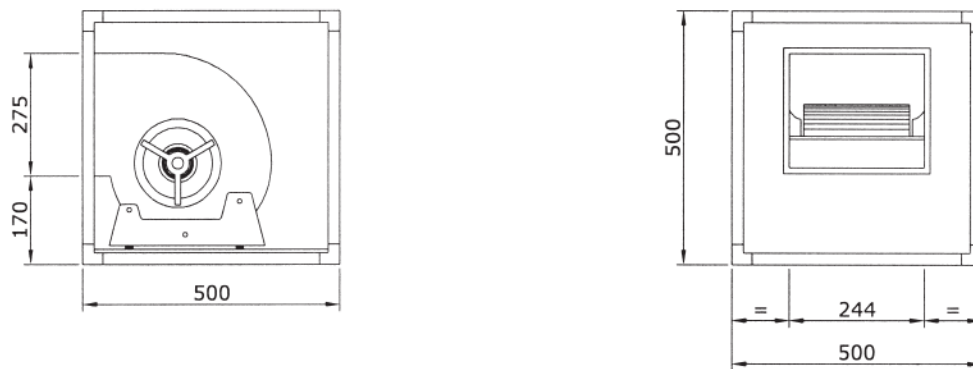
Fonte: AIRFAN (2019)

Figura 6 - Dimensões do ventilador do insuflador



Fonte: AIRFAN (2019)

Figura 7- Dimensões do insuflador na caixa de proteção



Fonte: AIRFAN (2019)

O filtro selecionado foi o classe F5 (De acordo com a Tabela 5) com eficiência média para partículas de $0,4\ \mu\text{m}$ entre 40 a 60%, ele ficará posicionado por trás da grelha de insuflamento e abaixo do insuflador. A Figura 8 mostra um exemplo de filtro desta categoria.

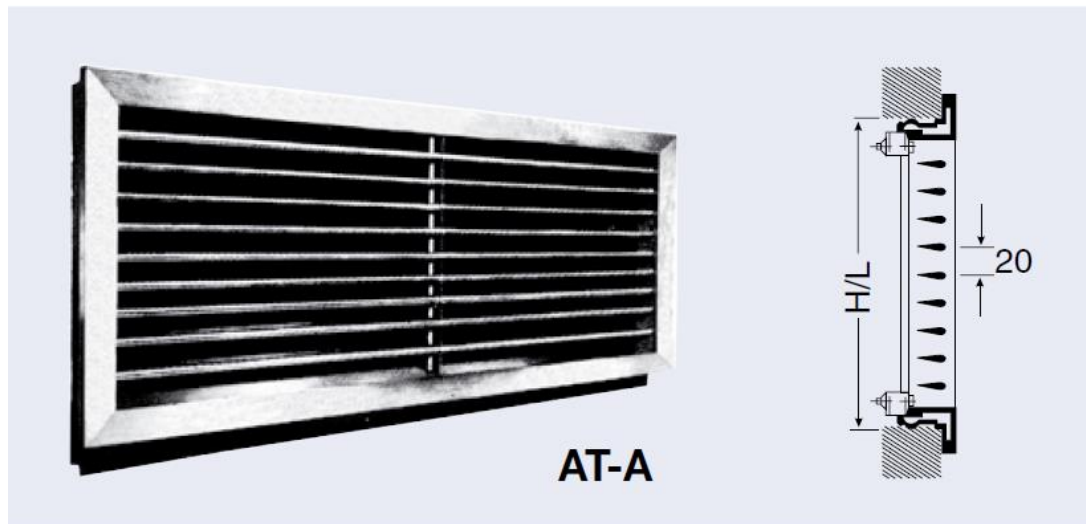
Figura 8- Filtro de classe F5



Fonte: Made-In-China (2019)

A grelha selecionada foi a AT 425x425 mm de 20 mm de distância entre as aletas. A Figura 10 demonstra um desenho da grelha selecionada.

Figura 9- Imagem da grelha selecionada



Fonte: TROX Technik Brasil (2019)

As Tabelas 15 e 16 apresentam os resultados dos cálculos de carga térmica e vazão a ser suprida.

Tabela 15 - Cálculo das vazões a serem supridas

Vazão a ser suprida					
Sala Padrão		Sala de computadores		Sala de desenho	
Vz (L/s)	301,623	Vz (L/s)	297,115	Vz (L/s)	328,615
Vz (L/s)	1085,8428	Vz (L/s)	1069,614	Vz (L/s)	1183,014

Fonte: Autoria própria

Tabela 16 - Cálculo das cargas térmicas totais

Carga térmica total					
Sala comum		Sala de computadores		Sala de desenhos	
Q (W)	9400,128	Q (W)	14936,52	Q (W)	13766,52
Q (Btu/h)	32093,31	Q (Btu/h)	50995,29	Q (Btu/h)	47000,75

Fonte: Autoria própria

De acordo com as Tabelas 15 e 16 é possível concluir que o número de pessoas influencia diretamente a vazão, enquanto a área e os equipamentos elétricos são fatores de grande influência para a carga térmica de um ambiente.

Dessa forma com os cálculos é possível concluir que:

Para as salas de aula comuns foi determinado a partir dos cálculos que a Vazão total necessária foi de $1.086 \text{ m}^3/\text{h}$ e a Carga térmica total de $32.093 \text{ BTU}/\text{h}$ sendo necessários dois aparelhos de $18.000 \text{ BTU}/\text{h}$ sendo uma alternativa usar algum de $24.000 \text{ BTU}/\text{h}$ (Já que é o modelo que tem na maioria das salas) com outro de $9.000 \text{ BTU}/\text{h}$.

Já na sala dos computadores a partir dos cálculos foi possível concluir que a Vazão total necessária foi de $1.070 \text{ m}^3/\text{h}$ e a Carga térmica total de $50.995 \text{ BTU}/\text{h}$ sendo necessários dois aparelhos um de 22.000 e outro de $30.000 \text{ BTU}/\text{h}$.

No caso da sala de desenhos os cálculos demonstraram que a Vazão total necessária é de $1.183 \text{ m}^3/\text{h}$ e a carga térmica total de $47.000 \text{ BTU}/\text{h}$ sendo necessários dois aparelhos de $24.000 \text{ BTU}/\text{h}$.

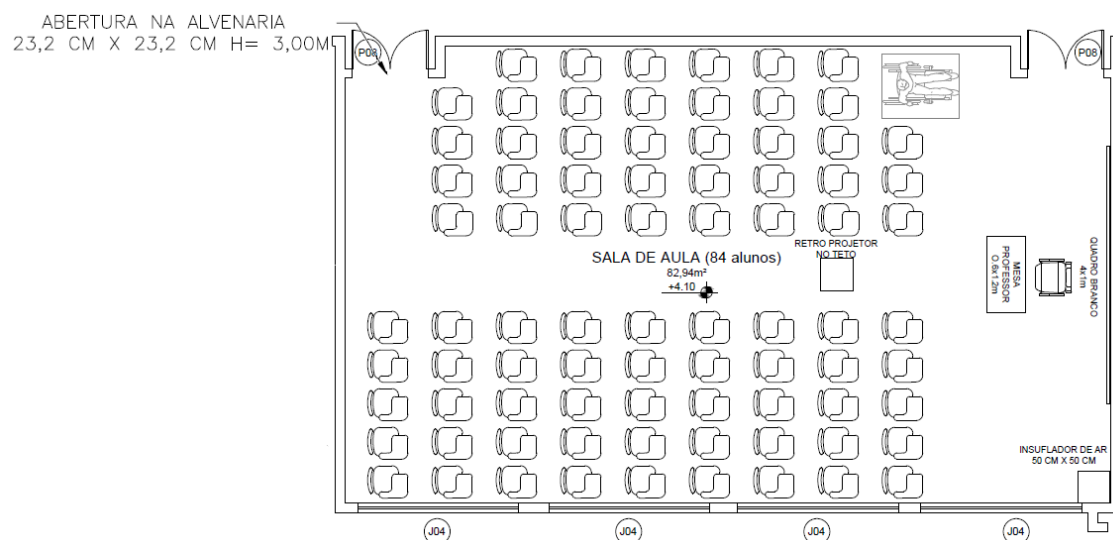
As Figuras 10, 11 e 12 mostram a planta baixa com o projeto aplicado para cada tipo de sala.

Figura 10- Planta baixa da Sala Comum com o insuflador e a abertura de escape de ar



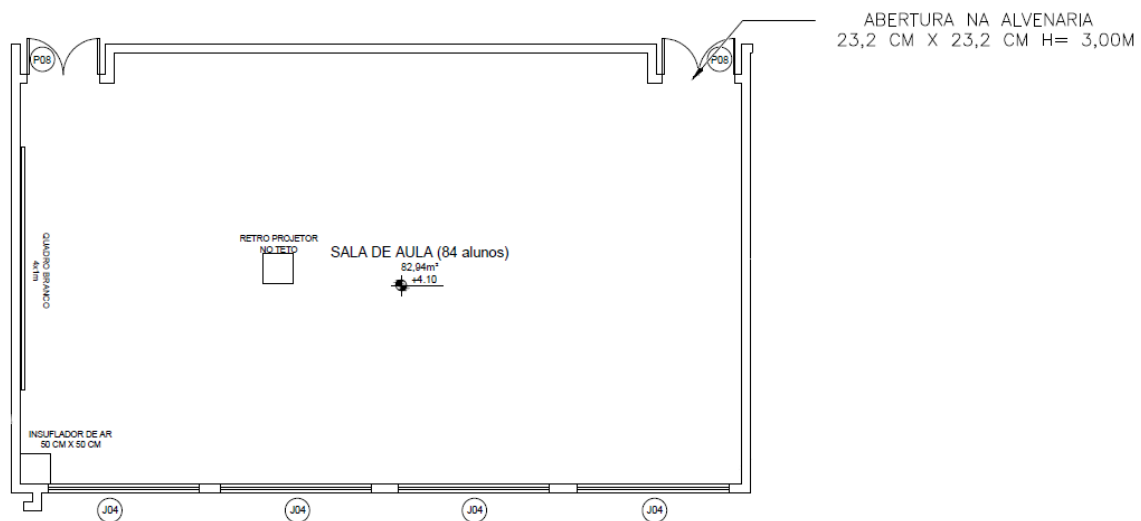
Fonte: Autoria própria adaptado de UFERSA (2019)

Figura 11- Planta baixa da Sala de Computadores com o insuflador e a abertura de escape de ar



Fonte: Autoria própria adaptado de UFERSA (2019)

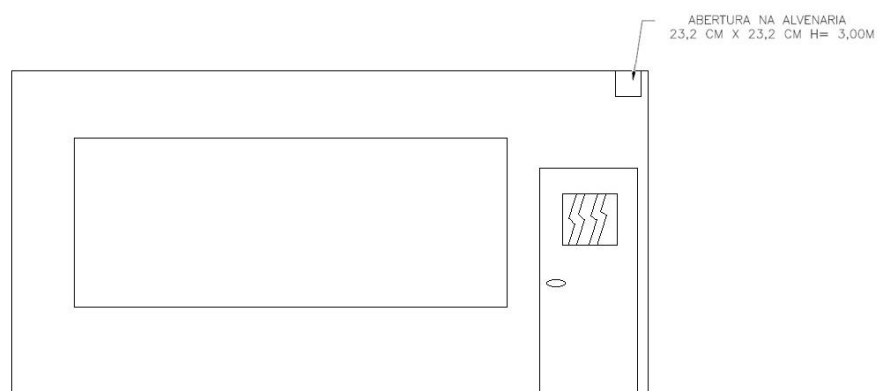
Figura 12- Planta baixa da Sala de Desenhos com o insuflador e a abertura de escape de ar



Fonte: Autoria própria adaptado de UFERSA (2019)

A Figura 13 mostra um corte apresentando a visão de dentro da sala da abertura de escape.

Figura 13 - Corte lateral da Sala Comum



Fonte: Autoria própria adaptado de UFERSA (2019)

6. CONCLUSÃO

Ao final deste trabalho foi possível determinar a carga térmica de cada um dos ambientes estudados, a vazão necessária de acordo com o número de pessoas das salas e o nível de ruídos do equipamento adicional para realizar a renovação.

Quanto ao equipamento adicional (Insufladores, filtros e grelhas), na questão da grelha e do filtro foi possível encontrar a venda componentes que atendessem totalmente a necessidade, todavia o insuflador selecionado atende a vazão porém passa dois decibéis do nível de ruído aceitável para o período da noite. Este insuflador foi escolhido pois, dentre os demais, é o que chega mais próximo de atender os requisitos, enquanto a maioria dos outros possuía uma vazão de ar bem inferior a requisitada para níveis aceitáveis de ruído.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AIRFAN. **Ventilatore cassonato.** Disponível em: <<http://www.airfan.it/upload/files/acc.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2019.

ALMEIDA, Antônio Gabriel Souza. **Modelagem de Sistema de Controle de Ar Condicionado Baseado em Redes de Petri.** 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ANTONOVICZ, Diego; WEBER, Rhuann Georgio Bueno. **INVENTÁRIO E PMOC - PLANO DE MANUTENÇÃO OPERAÇÃO E CONTROLE - NOS CONDICIONADORES DE AR DO CÂMPUS MEDIANEIRA DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ.** 2013. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento.** Rio de Janeiro: Impresso no Brasil, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro: Impresso no Brasil, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários.** Rio de Janeiro: Impresso no Brasil, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários.** Rio de Janeiro: Impresso no Brasil, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-3: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários**. Rio de Janeiro: Impresso no Brasil, 2008.

BRASIL. Constituição (1977). **Lei nº 6.437, de 20 de agosto de 1977**. . Brasília, 20 ago. 1977.

BRASINDOOR. **Resolução nº 9, de 16 de janeiro de 2003**. Brasília

ENGENHARIA ARQUITETURA (Org.). **Sistemas do tipo Split requerem equipamentos adicionais para renovação**. 2017. Disponível em: <<http://www.engenhariaarquitectura.com.br/2017/12/sistemas-do-tipo-split-requerem-equipamentos-adicionais-para-renovacao>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

FRIGELAR (Org.). **Conheça os Tipos de Ar Condicionado**. Disponível em: <<https://www.frigelar.com.br/tipos-de-ar>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

JOICE. **PMOC – Plano de Manutenção, Operação e Controle – para Ar Condicionado**. 2018. Disponível em: <<https://certificacaoiso.com.br/pmoc-plano-de-manutencao-operacao-e-controle-para-ar-condicionado>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

MADE-IN-CHINA. **Filtro de Ar de pregas de papelão**. Disponível em: <https://pt.made-in-china.com/co_cleanlinkfilter/product_Cardboard-Pleated-Air-Filter-F5-_esrhoesyg.html>. Acesso em: 17 fev. 2019.

MOSSORÓ, Rio Grande do Norte - RN.: **Coordenadas Geográficas..** Coordenadas Geográficas.. Disponível em: <<https://www.geografos.com.br/cidades-rio-grande-norte/mossoro.php>>. Acesso em: 25 ago. 2019.

SANTOS, Eliane Jorge dos. **Caracterização de Ruído de Sistema de Ar Condicionado Unitário Tipo “Mini-Split” em Residências Unifamiliares**. 2017. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Habitação, Planejamento e

Tecnologia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2017.

STROBEL, Christian. **Refrigeração e Ar condicionado: Conforto Térmico e Carga Térmica de Climatização**. Universidade Federal do Paraná, Setor de tecnologia. Disponível em:

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjfypKhkuDgAhWqTd8KHxrMBxUQFjAAegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fftp.demec.ufpr.br%2Fdisciplinas%2FEngMec_NOTURNO%2FTM374%2FAula%252009%2520-%2520Carga%2520T%25E9rmica%2520de%2520Climatiza%25E7%25E3o%2520-%2520Refrigera%25E7%25E3o%2520e%2520Ar%2520condicionado.docx&usg=AOvVaw2oDTqUqNJ3OV0O84ZLqFr9>. Acesso em: 27 fev. 2019.

TROX TECHNIK BRASIL. **Grelhas de Ventilação Fabricadas em Alumínio**. Disponível em:

<https://www.troxbrasil.com.br/downloads/bc2b876dd0924db4/c1001_ah_vat.pdf?type=product_info>. Acesso em: 17 fev. 2019.

WEATHER SPARK. **Condições meteorológicas médias de Mossoró**. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/31215/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Mossor%C3%B3-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 25 fev. 2019.