

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO  
GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

JOÃO HENRIQUE STOROPOLI

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES TÉRMICAS E QUALIDADE DO AR EM  
SALAS DE AULA NO DESEMPENHO COGNITIVO DE ESTUDANTES  
UNIVERSITÁRIOS**

JOÃO HENRIQUE STOROPOLI

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES TÉRMICAS E QUALIDADE DO AR EM  
SALAS DE AULA NO DESEMPENHO COGNITIVO DE ESTUDANTES  
UNIVERSITÁRIOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração – Gestão Ambiental e Sustentabilidade da Universidade Nove de Julho – Uninove, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Administração

Orientador: Prof. Dr. João Alexandre Paschoalin Filho

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Teresinha Kniess

SÃO PAULO

2017

**JOÃO HENRIQUE STOROPOLI**

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES TÉRMICAS E QUALIDADE DO AR EM  
SALAS DE AULA NO DESEMPENHO COGNITIVO DE ESTUDANTES  
UNIVERSITÁRIOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Nove de Julho – Uninove, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Gestão Ambiental e Sustentabilidade.

Aprovada em: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2017.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. João Alexandre Paschoalin Filho - Universidade Nove de Julho –  
Uninove (Orientador)

---

Profa. Dra. Cláudia Teresinha Kniess - Universidade Nove de Julho – Uninove  
(Co-orientadora)

---

Profa. Dra. Brenda Chaves Coelho Leite - Universidade de São Paulo – USP

---

Prof. Dr. Mauro Silva Ruiz - Universidade Nove de Julho – Uninove

---

Prof. Dr. José Eustáquio Romão - Universidade Nove de Julho – Uninove

São Paulo, 12 de junho de 2017

STOROPOLI, João Henrique.

Influência das condições térmicas e qualidade do ar em salas de aula no desempenho cognitivo de estudantes universitários. 2017.

115f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho – Uninove, São Paulo, 2017.

Orientador: Prof. Dr. João Alexandre Paschoalin Filho.

Co-orientadora: Profa. Dra. Cláudia Teresinha Kniess

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me dado a saúde e conhecimento necessários.

Para meus pais, Eduardo Storopoli e Maria Cristina Barbosa Storopoli, que sempre estiveram do meu lado e me apoiaram em todos meus sonhos, sempre se preocupando com a minha felicidade acima de tudo.

Para meu irmão, Dr. José Eduardo Storopoli, que é meu referencial na vida acadêmica e me serviu como exemplo e motivação para que fosse possível atravessar diversos obstáculos.

Ao Professor Dr. João Alexandre Paschoalin Filho e a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Teresinha Kniess, pelo tempo, paciência e dedicação fornecidos para mim em toda a pesquisa.

Ao Prof. Dr. Arlindo Tribess, que nos recebeu e nos forneceu princípios norteadores para esta pesquisa que auxiliaram para delimitar o escopo e os objetivos.

Para a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Brenda Chaves Coelho Leite, que nos ajudou bastante com a pesquisa, pois nos forneceu os equipamentos específicos para medição das variáveis internas da qualidade do ar.

Ao Prof. Dr. Evandro Luiz Lopes, que nos orientou na linha metodológica, nosso reconhecimento pelo grande esforço em nos ajudar em matérias estatísticas e debates sobre correlação e influência entre as variáveis.

Ao Prof. Dr. José Eustáquio Romão e Prof. Dr. Jason Ferreira Mafra, que nos auxiliaram nos estudos sobre educação e aprendizagem.

*“Alea iacta est”* - Júlio César

## RESUMO

A análise do desempenho cognitivo dos estudantes é fundamental para se estabelecer estratégias e ferramentas pedagógicas de ensino em qualquer nível acadêmico. Contudo, fatores ambientais internos das salas de aula, tais como ventilação, temperatura do ar, umidade, concentração de CO<sub>2</sub>, entre outros, podem apresentar significativa influência no desempenho cognitivo de estudantes. Dessa forma, esta pesquisa tem por objetivo estudar a relação entre fatores ambientais internos de salas de aula e o desempenho cognitivo de estudantes universitários. Para tal, utilizou-se o método de pesquisa experimental. A coleta de dados foi realizada por meio da aplicação de dois testes elaborados para mensurar o desempenho cognitivo de um grupo de estudantes universitários. Os testes foram aplicados em uma sala de aula previamente selecionada, na qual foram mensurados os níveis de CO<sub>2</sub>, umidade do ar, a velocidade do ar e temperatura durante o tempo em que os alunos permaneceram no local realizando os testes. A sala de aula foi preparada nos seguintes cenários: i) ar condicionado ligado e porta e janela fechadas; ii) porta e janela abertas e ar condicionado desligado e, iii) ar condicionado desligado e portas e janelas fechadas. Como resultado, constatou-se que as condições ambientais internas da sala de aula influenciaram a percepção do ambiente e o desempenho cognitivo dos participantes. A disposição da sala de aula afeta as condições ambientais internas. Existe uma correlação positiva entre temperatura e umidade, por isso, deve-se utilizar ventilação cruzada para melhorar as condições internas da sala de aula. Constatou-se também que a variação e o coeficiente angular do desempenho cognitivo foram maiores quando as condições internas eram boas. Portanto, a baixa qualidade ambiental e o desconforto térmico diminuem a performance de estudantes. A pesquisa realizada pode contribuir para a percepção deste problema por Instituições de Ensino, de modo a adotarem medidas para otimizar as condições ambientais de salas de aula.

**Palavras-chave:** Arquitetura escolar; Conforto ambiental; Desempenho cognitivo; Estudantes universitários.

## ABSTRACT

The cognitive performance analysis is key to establishing strategies and pedagogical teaching tools in any academic level. However, classroom's internal environmental factors, such as: ventilation, room temperature, humidity, CO<sub>2</sub> levels, among others, can present significant influence on student's cognitive performance. Thus, this research had as objective to study the relation between internal environmental factors and the student's cognitive performance. For this purpose, the methodologic approach adopted in this research was composed by gathering data from two different tests, made to measure the cognitive performance of a university student group. The tests were applied in a previously selected class room, in which the CO<sub>2</sub> levels humidity, air speed and room temperature were measured during the time that the students remained in the class room. On an effort to verify the cognitive performance variation of the students by the class room internal environmental condition, tests were applied em three successive days with the classrooms prepared in the following set up's: i) Air-Conditioning on windows and door closed; ii) Air-Conditioning off windows and door opened and, iii) Air-Conditioning off windows and door closed. The internal environmental conditions have influenced the environmental perception and the student's cognitive performance. The classroom setup affects the internal environmental conditions. There is positive correlation between temperature and humidity, therefore, it is imperative to use crossed ventilation in order to improve the internal classroom's conditions. The cognitive performance's variation and angular coefficient were bigger when the conditions were better. Therefore, environmental quality and thermic discomfort reduce the student's performance. The research can contribute towards the awareness of this problem by the Educational Institutions, in order to adopt measures to optimize environmental conditions inside classrooms

**Key-words:** Cognitive performance; Environmental comfort; Escolar architecture; University students..



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Elementos de projetos educacionais. Fonte: Adaptado de Frandoloso (2001)	29
Figura 2- Fatores que compõem o ambiente social escolar. Fonte: Adaptado de Eric (2005)	33
Figura 3- Fatores escolares. Fonte: Adaptado de Korir e Kipkemboi (2014)	34
Figura 4- Tipos de variáveis consideradas na pesquisa e aspectos objetivos e subjetivos. Fonte: Correia (2010)	42
Figura 5- Esquema da teoria comportamental. Fonte: Adaptado de Hoy et al. (2015)	51
Figura 6 - Versão do Sistema de processamento de informações. Fonte: Adaptado de Hoy et al. (2015)	54
Figura 7- Variáveis independentes e dependentes. Fonte: Pesquisa	61
Figura 8- Fluxograma da pesquisa. Fonte: Pesquisa	62
Figura 9- Localização da sala de aula em estudo. Fonte: Pesquisa	63
Figura 10- Vista interna da sala de aula em estudos. Fonte: Pesquisa	63
Figura 11- Aparelhos de medição. Fonte: Pesquisa	66
Figura 12- Localização dos pontos de medição das condições internas da sala de aula. Fonte: Pesquisa	67
Figura 13- Janelas na sala de aula. Fonte: Pesquisa	68
Figura 14- Cenários utilizados na pesquisa. Fonte: O autor	69
Figura 15- Teste de Kraepelin a ser aplicado. Fonte: Parcura e Sarbu (2015).	70
Figura 16- Teste P (Prague Test) a ser aplicado. Fonte: Parcura e Sarbu (2015).	71
Figura 17- Fluxograma de aplicação dos testes e ambientação necessária. Fonte: Pesquisa	71
Figura 18- Interpretação dos dados obtidos pelo questionário. Fonte: NBR Abnt16401-3/2008	73

Figura 19- Questionário de percepção da qualidade do ar interno. Fonte: NBR Abnt16401-3/2008 .....	74
Figura 20- Proporção entre homens e mulheres participantes da amostra. Fonte: Dados da pesquisa .....	75
Figura 21- Faixas de idade observadas entre os alunos componentes da amostra. Fonte: Dados da pesquisa.....	76
Figura 22- Frequência de distribuição em relação a vestimenta nos três dias. Fonte: Dados da pesquisa .....	77
Figura 23- Medidas médias efetuadas para cada dia. Fonte: Dados da pesquisa.....	78
Figura 24- Níveis de CO <sub>2</sub> médios medidos durante cada dia. Fonte: Dados da pesquisa .....	79
Figura 25- Níveis de CO <sub>2</sub> obtidos durante o primeiro dia em cada ponto (cenário 1- Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas.). Fonte: Dados da pesquisa.....	80
Figura 26- Incremento dos níveis de CO <sub>2</sub> em cada ponto durante as medições efetuadas (cenário 1- Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas) Fonte: Dados da pesquisa. ....	80
Figura 27-Níveis de CO <sub>2</sub> obtidos durante o segundo dia em cada ponto (Cenário 2- Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas). Fonte: Dados da pesquisa ...	81
Figura 28- Incremento dos níveis de CO <sub>2</sub> em cada ponto durante as medições efetuadas (Cenário 2- Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas). Fonte: Dados da pesquisa .....	81
Figura 29- Níveis de CO <sub>2</sub> obtidos durante o terceiro dia em cada ponto (Cenário 3- Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas). Fonte: Dados da pesquisa .....	82
Figura 30- Incremento dos níveis de CO <sub>2</sub> em cada ponto durante as medições efetuadas (Cenário 3- Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas) Fonte: Dados da pesquisa.....	82

Figura 31- Valores de temperatura interna do ar obtidos durante primeiro dia (cenário 1- Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas). Fonte: Dados da pesquisa .....	83
Figura 32- Incremento na temperatura do ar em cada ponto durante as medições efetuadas- (cenário 1- Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas). Fonte: Dados da pesquisa .....	83
Figura 33- Valores de temperatura interna obtidos durante segundo dia (Cenário 2- Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas). Fonte: Dados da pesquisa ...	84
Figura 34- Incremento na temperatura do ar em cada ponto durante as medições efetuadas- segundo dia (Cenário 2- Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas). Fonte: Dados da pesquisa.....	85
Figura 35- Valores de temperatura interna obtidos durante terceiro dia (Cenário 3- Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas). Fonte: Dados da pesquisa .....	86
Figura 36- Incremento na temperatura do ar em cada ponto durante as medições efetuadas- terceiro dia (Cenário 3- Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas). Fonte: Dados da pesquisa .....	86
Figura 37- Valores de umidade interna do ar obtidos durante primeiro dia (cenário 1- Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas). Fonte: Dados da pesquisa .....	87
Figura 38- Incremento na umidade do ar em cada ponto durante as medições efetuadas- primeiro dia (cenário 1- Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas). Fonte: Dados da pesquisa.....	88
Figura 39- Valores umidade interna do ar obtidos durante segundo dia (cenário 2- Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas). Fonte: Dados da pesquisa ...	89
Figura 40- Incremento na umidade do ar em cada ponto durante as medições efetuadas- segundo dia (cenário 2- Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas). Fonte: Dados da pesquisa.....	89

Figura 41- Valores de umidade interna do ar obtidos durante terceiro dia (Cenário 3- Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas). Fonte: Dados da pesquisa .....	90
Figura 42- Incremento na umidade do ar em cada ponto durante as medições efetuadas- terceiro dia (cenário 3- Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas). Fonte: Dados da pesquisa.....	91
Figura 43- Níveis médios CO <sub>2</sub> médios obtidos para os três cenários de estudo (medidas 1 a 5:cenário 1; medidas 6 a 10: cenário 2; medidas 11 a 15: cenário 3). Fonte: Dados da pesquisa. ....	92
Figura 44- Comparação entre os valores de temperatura ambiente para os três cenários em estudo (medidas 1 a 5: cenário 1; medidas 6 a 10: cenário 2; medidas 11 a 15: cenário 3). Fonte: Dados da pesquisa .....	93
Figura 45- Comparação entre os valores de temperatura ambiente para os três cenários em estudo (medidas 1 a 5: cenário 1; medidas 6 a 10: cenário 2; medidas 11 a 15: cenário 3). Fonte: Dados da pesquisa .....	93
Figura 46- Valores de umidade interna do ar obtidos durante todos os cenários em estudo (medidas 1 a 5: cenário 1; medidas 6 a 10: cenário 2; medidas 11 a 15: cenário 3). Fonte: Dados da pesquisa.....	94
Figura 47- Valores de umidade interna do ar obtidos durante todos os cenários em estudo (medidas 1 a 5:cenário 1; medidas 6 a 10: cenário 2; medidas 11 a 15: cenário 3). Fonte: Dados da pesquisa.....	94
Figura 48- Diagrama de conforto humano. Fonte: Inmet (2009) apud Souza & Nery (2012).....	95
Figura 49- Relação entre umidade e temperatura. Fonte: Dados da pesquisa .....	96
Figura 50- Qualidade de ar percebida pelos participantes durante os dias utilizados. Fonte: Dados da pesquisa.....	97
Figura 51- Temperatura interna percebida pelos participantes durante os três cenários utilizados. Fonte: Dados da pesquisa.....	98

Figura 52- Incômodo em relação ao ambiente interno percebido pelos participantes durante os três cenários utilizados. Fonte: Dados da pesquisa.....	98
Figura 53- Relação entre a qualidade percebida do ambiente (temperatura e qualidade do ar) e o dióxido de carbono medida durante o período (medidas 1, 2 e 3 – cenário 1; medidas 4,5 e 6 – cenário 2; medidas 7,8,9-cenário 3). Fonte: Dados da pesquisa	99
Figura 54- Relação entre a qualidade percebida do ambiente (temperatura e qualidade do ar) e umidade medida durante o período (medidas 1, 2 e 3 – cenário 1; medidas 4,5 e 6 – cenário 2; medidas 7,8,9-cenário 3).Fonte: Dados da pesquisa.....	100
Figura 55- Relação entre a qualidade percebida do ambiente (temperatura e qualidade do ar) e a temperatura medida durante o período em estudos (medidas 1, 2 e 3 – cenário 1; medidas 4,5 e 6 – cenário 2; medidas 7,8,9-cenário 3). Fonte: Dados da pesquisa .....	100
Figura 56- Variação do desempenho médio dos alunos em cada dia (Teste K). Fonte: Dados da pesquisa.....	101
Figura 57- Variação do desempenho médio dos alunos no cenário 1 (Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas ) Fonte: Dados da pesquisa .....	102
Figura 58- Variação do desempenho médio dos alunos no cenário 2 (Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas ). Fonte: Dados da pesquisa .....	102
Figura 59- Variação do desempenho médio dos alunos no cenário 3 (Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas). Fonte: Dados da pesquisa .....	103
Figura 60- Variação do desempenho médio dos alunos em cada cenário estudado. Fonte: Dados da pesquisa.....	104
Figura 61- Variação do desempenho médio dos alunos no cenário 1 (Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas ). Fonte: Dados da pesquisa. ....	105
Figura 62- Variação do desempenho médio dos alunos no cenário 2 (Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas ). Fonte: Dados da pesquisa. ....	105

Figura 63- Variação do desempenho médio dos alunos no cenário 3 (Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas). Fonte: Dados da pesquisa .....	106
Figura 64- Relação entre o desempenho dos alunos e os valores medidos de CO <sub>2</sub> durante o período em estudos (medidas 1, 2 e 3 – cenário 1; medidas 4,5 e 6 – cenário 2; medidas 7,8,9-cenário 3). Fonte: Dados da pesquisa.....	107

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Influência do movimento, luz e padrões de vista. ....	31
Quadro 2 - Definições das variáveis utilizadas nesta pesquisa. ....	39
Quadro 3 - Concentração máxima de alguns poluentes do ambiente interior. ....	44
Quadro 4 - Teorias do processo de aprendizagem. ....	47
Quadro 5 - Estrutura do processo cognitivo na taxonomia de Bloom - revisada.....	48
Quadro 6- Mecanismos de condicionamento operante.....	51
Quadro 7 - Tipos de conhecimento. ....	53
Quadro 8 - Divisões dos tipos de conhecimento. ....	53
Quadro 9 - Taxas típicas de calor liberado por pessoas (W) ....	58
Quadro 10 - Características da pesquisa experimental. ....	60
Quadro 11 - Parâmetros ambientais que foram medidos.....	64
Quadro 12 - Descrição dos cenários utilizados.....	77
Quadro 13 - Temperatura e umidade médias em cada ponto de medição (medidas 1 a 5:cenário 1; medidas 6 a 10: cenário 2; medidas 11 a 15: cenário 3).....	95

## LISTA DE SÍMBOLOS

CO Monóxido de Carbono

CO<sub>2</sub> Dióxido de Carbono

°C graus Celsius

cm Centímetro

HCHO Formaldeído

Kg Quilograma

m Metro

m<sup>2</sup> Metro quadrado

m/s Metro por segundo

O<sub>3</sub> Ozônio

ppm Partícula por milhão

PM<sub>10</sub> Material particulado

(%) Percentual

q Umidade específica (Kg/Kg)

SO<sub>2</sub> Dióxido de enxofre



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IBUTG	Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Teste K	Teste de Kraepelin
Test P	Teste de Prague

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 
$$Nalunos = \frac{\textit{Área da sala de aula}}{1,5}$$

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>21</b>
1.1 Problemática e questão de pesquisa.....	22
1.2 Objetivos .....	23
1.2.1 Objetivo geral.....	23
1.2.2 Objetivos específicos .....	23
1.3 Estrutura do trabalho.....	24
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>25</b>
2.1 A importância da qualidade do conforto ambiental dos edifícios escolares na educação dos indivíduos.....	25
2.2 Conforto ambiental em ambientes construídos .....	39
2.3 Processos de aprendizagem.....	46
2.3.1 Aprendizagem cognitiva e Taxonomia de Bloom .....	47
2.3.2 Teoria comportamental na aprendizagem.....	49
2.3.3 Teoria cognitiva na aprendizagem.....	52
2.4 Relação entre ambiente interno de ambientes educacionais e aprendizagem cognitiva.....	55
<b>3. METODOLOGIA DE PESQUISA.....</b>	<b>59</b>
3.1 Caracterização do tipo de pesquisa.....	59
3.2 Delineamento do objeto em estudo.....	61
3.2.1 Descrição da sala de aula utilizada .....	62
3.2.2 Caracterização da população amostral.....	64
3.3 Procedimentos para coleta de dados .....	64
3.4 Cenários utilizados.....	69
3.5 Aplicação do teste de cognição .....	69
3.6 Questionários de avaliação do ambiente interno .....	72
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>75</b>
4.1 Caracterização da população amostral.....	75
4.2 Caracterização do ambiente interno da sala de aula .....	77

4.3 Caracterização do ambiente interno percebido pelos participantes.....	97
4.4 Desempenho cognitivo <i>versus</i> ambiente interno da sala de aula .....	101
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>109</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>112</b>

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A preocupação com a sustentabilidade das nações, em um cenário de mudanças climáticas, provoca entre os arquitetos e urbanistas uma tendência de desenvolver suas tarefas usando todos os recursos e conhecimentos para reduzir impactos ambientais e maximizar o aproveitamento dos recursos naturais disponíveis. Logo, a prática da arquitetura bioclimática representa grande trunfo nas ações que visam à melhoria do conforto térmico e lumínico nos ambientes construídos e a consequente diminuição do consumo de energia e do impacto ambiental. (Fonseca et al., 2010).

De acordo com Azevedo (2002), observa-se um consenso de que o ambiente da sala de aula pode afetar atitudes e comportamentos dos estudantes, relacionando baixas qualidades do ambiente construído com diminuição da interação social, o aumento da agressividade e a redução do grau de concentração, comprometendo, consequentemente, a eficácia do método educativo.

Internacionalmente, a arquitetura escolar e aprendizagem em escolas ganharam relevância. Tanner (2008) explica que muitas pessoas ainda acreditam que edificações escolares são apenas grandes caixas, nas quais o processo de aprendizagem ocorre.

Na visão de Passador e Calhado (2012), é inegável o papel fundamental da educação para a formação do indivíduo, para a sociedade e para o desenvolvimento do país. Sendo a educação uma política pública é de suma importância que sejam realizadas avaliações, já que os cidadãos exigem, cada vez mais, uma maior qualidade nos serviços prestados pelo governo e a disponibilidade de recursos é bastante escassa, o que torna necessária a melhor utilização dos recursos como forma de otimizar os resultados. Mesmo assim, para os autores, foi verificado que a utilização das ferramentas de avaliação é um tema recente no Brasil, embora sua importância seja elevada e práticas de avaliação sejam empregadas no mundo há algum tempo.

Porém, Nogueira et. al. (2005) explicam que, além de não atender as condições mínimas de conforto requeridas pelos usuários, algumas escolas comprometem o ensino-aprendizagem, a saúde física e psicológica provocando um aumento excessivo do

consumo de energia elétrica para condicionar os ambientes devido a problemas de condensação e ventilação insuficiente.

Para Correia (2010), buscar a condição ideal de conforto humano e o que nele interfere é uma tarefa desafiadora, pois a adaptabilidade e a satisfação do usuário podem variar significativamente dependendo do contexto social, cultural e econômico em que está inserido. A complexidade da relação homem-ambiente tem levado pesquisadores, já há algumas décadas, a trabalharem em busca de limites físicos e individuais para que se atinjam níveis satisfatórios de conforto do homem em seu meio – índices e zonas de conforto –, ultrapassando a análise ambiental meramente física e integrando questões individuais subjetivas.

Batiz, Goedert, Morsch e Venske (2009) demonstram que estudos que relacionam o desempenho cognitivo a fatores ambientais internos de salas de aula ainda se encontram em estágio inicial. Segundo os autores, muitos desses estudos baseiam-se somente na variável temperatura do ar, na avaliação do desempenho dos alunos e na aprendizagem cognitiva.

Dessa forma, é importante verificar o quanto as variáveis ambientais internas de salas de aulas influenciam no conforto e no rendimento do trabalho ou numa atividade realizada por um grupo de pessoas. Nesse contexto, algumas manifestações fisiológicas, tais como dor de cabeça, fadiga, alteração sensorial, depressão intelectual, indiferença, sono, descoordenação motora e perda de memória, têm surgido cada vez mais frequentemente (Batiz, Goedert, Morsch & Venske, 2009)

Neste contexto, esta dissertação contribuirá para a discussão sobre a influência dos fatores ambientais internos de uma sala de aula no processo de aprendizagem cognitivo, para que seja possível melhorar as condições das escolas e universidades nas quais os alunos lecionam.

### **1.1 Problemática e questão de pesquisa**

De acordo com Jurado, Bankoff e Sanchez (2014), alguns estudos acerca de conforto ambiental em diferentes ambientes internos foram realizados, porém um estudo a respeito da qualidade do ar de salas de aula de universidades brasileiras não foi realizado. Na visão de Batiz, Goedert, Morsch e Venske (2009), a grande parte dos estudos de conforto ambiental e aprendizagem foi baseada somente na variável

temperatura do ar para avaliar o desempenho na aprendizagem. Nota-se que estudos completos com todas as variáveis não foram realizados em instituições de ensino brasileiras. Nesse sentido, a proposta desse trabalho é ampliar o escopo das pesquisas no tema por meio do estudo da influência das variáveis dos níveis de CO<sub>2</sub>, temperatura, umidade e velocidade do ar no processo de aprendizagem cognitiva.

Nesse contexto, a pergunta de pesquisa que norteará esta dissertação é: “Como o desempenho cognitivo de estudantes de uma instituição de ensino superior localizada no município de São Paulo/SP é influenciado pelas condições ambientais internas do ar em uma sala de aula”?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Esta pesquisa possui como objetivo geral analisar a influência das condições ambientais internas em uma sala de aula sobre o desempenho cognitivo de estudantes de uma instituição de ensino superior localizada no município de São Paulo/SP.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Neste sentido, a pesquisa possui como objetivos específicos:

- Analisar o ambiente da sala de aula em estudos de acordo com os parâmetros ambientais internos medidos;
- Verificar a percepção dos estudantes acerca das condições ambientais da sala de aula;
- Avaliar o desempenho dos estudantes nos testes aplicados pela variação das condições ambientais da sala de aula em estudos;
- Correlacionar o ambiente percebido pelos alunos com o identificado por meio das medições conduzidas;
- Identificar a relação entre as condições ambientais da sala de aula e o desempenho dos alunos nos testes aplicados;
- Apresentar sugestões que visam possibilitar o incremento das condições de conforto ambiental para os alunos e, conseqüentemente, melhorar o desempenho cognitivo destes.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

Quanto à forma, esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. O capítulo dois é composto pela revisão teórica sobre os principais tópicos relacionados ao trabalho, dentre os quais se destacam: conforto ambiental em ambientes construídos, ambientes escolares e processos de aprendizagem. O capítulo três detalha os procedimentos metodológicos utilizados durante a pesquisa com ênfase para o desenvolvimento do projeto de pesquisa. O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos e a discussão associada. Na sequência, o capítulo cinco expressa as conclusões da pesquisa e sugestões para futuros trabalhos sobre o tema ora abordado.



## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

Este capítulo está dividido em 4 tópicos. O primeiro trata sobre a importância da adoção de conceitos de arquitetura escolar na criação de projetos educacionais. O segundo capítulo explica conceitos de conforto ambiental em ambientes construídos, especialmente nos ambientes dedicados a educação após serem demonstrados os conceitos ambientais internos. Já o terceiro capítulo mostra a influência da qualidade ambiental interna na aprendizagem. O quarto capítulo está dividido em três tópicos

### **2.1 A importância da qualidade do conforto ambiental dos edifícios escolares na educação dos indivíduos**

As áreas urbanas cresceram mundialmente, sendo esperado que mais de 70% da população mundial esteja concentrada nas cidades até o ano de 2050 (ONU, 2015). Na visão de Rupp, Vásquez e Lamberts (2015), este aumento gerará um maior adensamento populacional nas áreas urbanas, especialmente nos centros das cidades. De acordo com os autores, as pessoas passam cerca de 80% a 90% do seu dia dentro de edifícios (comerciais, residenciais, etc.); dessa forma, é de se esperar uma grande concentração destas interagindo entre si dentro das edificações, o que ressalta a importância de estudos relacionados a condições internas do ar e conforto ambiental.

Segundo Lee, Mui, Wong, Chan e Cheung (2012), o projeto de um ambiente interno que fornecerá aos seus usuários boa qualidade na sua ocupação, dependerá de quatro componentes básicos: conforto térmico, qualidade interna do ar, conforto visual e auditivo.

Freitas e Azerêdo (2013) alertam que a não utilização dos preceitos bioclimáticos no planejamento urbano reflete diretamente sobre as cidades, seu entorno e sua população, podendo produzir espaços ambientalmente desconfortáveis. Assim, é essencial reforçar que cada projeto de arquitetura, de urbanismo e de paisagismo deve considerar as interações com as variáveis climáticas em busca de soluções que visem o conforto ambiental.

Os autores ainda explicam que quanto maior a densidade de construções, por justaposição das edificações, maior a dificuldade em o vento fluir, assim, maior o acúmulo de calor. Aliado à densidade, o material e a tipologia construtiva inadequada tendem a produzir um menor valor do fator solar de radiação visível, exigindo a utilização

de energia elétrica, além de ventilação mecânica, aumentando o custo de operacionalização do ambiente interno.

De uma forma geral, grande parte das edificações escolares não atende as condições mínimas de conforto dos usuários; assim, coloca-se em comprometimento as relações de ensino-aprendizagem, a saúde física e psicológica dos atores do processo – a saber, alunos e professores. Além disso, a pouca preocupação de criar e construir prédios escolares capazes de bom desempenho térmico provocam aumento do consumo de energia elétrica, pois é necessário condicionar o ar nesses ambientes, o que gera deterioração de materiais por problemas de condensação e ventilação insuficiente. (Nogueira et al., 2005)

A edificação escolar é um equipamento de relevância indiscutível na formação do ser humano e vital para o contexto social, cultural e econômico de um país, pois é onde acontece a educação, força motriz do desenvolvimento individual do ser humano e, coletivamente, da comunidade, da sociedade e da nação, do ponto de vista da cultura e da economia. Por decorrência dessa constatação, de fato, é imprescindível garantir condições mínimas de conforto ambiental aos usuários, seja do modo térmico, acústico ou lumínico. Se for considerado que o homem invariavelmente está em contato direto com o ambiente construído que o envolve, deve-se, portanto, almejar que este nos garanta condições mínimas de bem-estar para que se possa desenvolver as atividades com conforto em todos os aspectos sensoriais. (Dalvite et al., 2007)

Nesse contexto, a relação espaço-usuário representa um parâmetro fundamental para a adequação do edifício escolar à proposta pedagógica adotada, uma vez que será neste ambiente que o indivíduo irá se desenvolver, estabelecendo sua relação com o mundo e com as pessoas, por meio de seu desenvolvimento educacional e da relação de ensino e aprendizagem. A partir dessa interação, seus esquemas de aquisição de conhecimento são construídos em um processo permanente e evolutivo, acrescentando novos níveis de conhecimento, indefinidamente (Azevedo, 2002)

Carvalho (2008) explica que a caracterização física do espaço escolar exerce influência no aprendizado e bem-estar do aluno. Segundo o autor, esse ambiente deve oferecer espaços seguros e confortáveis, de fácil acessibilidade e compatíveis com a metodologia pedagógica escolhida e eleita pela escola. Neste processo, é fundamental que

arquitetura e pedagogia estejam em sincronia, de modo que a arquitetura possa favorecer a pedagogia escolhida, bem como o contrário.

A formação educacional de um indivíduo está relacionada a uma rede complexa de fatores sociais, econômicos, pedagógicos e ambientais que, juntos, deverão interferir e complementar-se para a obtenção de resultados positivos que contribuam para o desenvolvimento deste indivíduo e, por conseguinte, da sociedade, em atividades mútuas e cooperativas. Sabe-se que a importância do fator educacional se revela primordial desde as primeiras atitudes da criança no convívio com a família. Ao longo do tempo, e atualmente cada vez mais cedo, este convívio estende-se para o ambiente escolar onde novas formas de aprendizado e de vida comunitária lhe serão revelados (Bernardi & Kowaltowski, 2001)

Dessa forma, Azevedo (2002) ressalta a importância de se estudar os projetos arquitetônicos de edifícios escolares. Segundo o autor, a complexa tarefa de concepção do edifício escolar apresenta um nível de importância bastante acentuado, considerando sua significação social como objeto arquitetônico emblemático para determinada comunidade, ao mesmo tempo em que consolida sua importância como símbolo educacional e sua relevância no próprio processo educativo de futuros cidadãos.

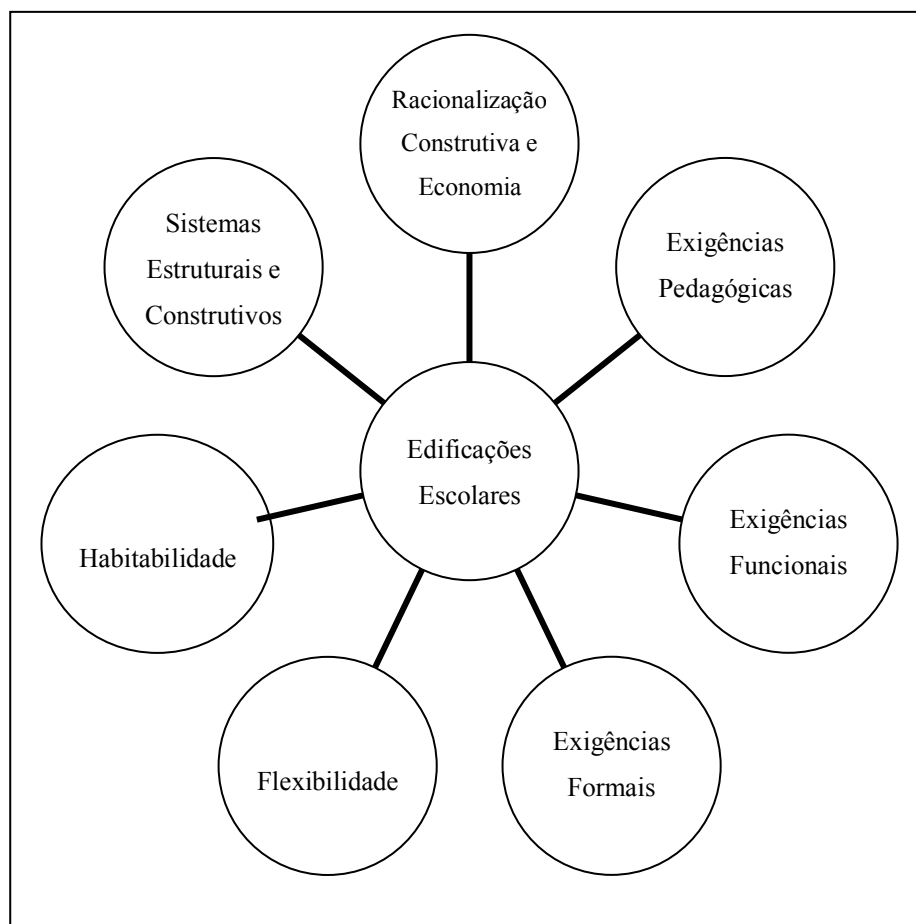
Em relação aos projetos arquitetônicos, é fundamental destacar apontamentos acerca da concepção do ambiente escolar. De acordo com Bernardi e Kowaltowski (2001), a configuração física do ambiente escolar e a adaptação do estudante a este meio exercem grande predominância na evolução do aprendizado. O espaço da escola, embora sujeito a normas, e principalmente por conta disso, deve oferecer segurança, acessibilidade e conforto aos seus usuários. Tais condições de conforto no ambiente afetam diretamente os usuários, tanto no aspecto fisiológico como psicológico e, conseqüentemente, o desempenho de suas atividades. Segundo os autores, devem ser considerados problemas de conforto aqueles relacionados à funcionalidade, ambiente térmico, iluminação e acústica.

A arquitetura escolar não se limita apenas a sala de aula. Também estão incluídos a biblioteca e outros locais da Instituição de Ensino, tais como laboratórios, salas de simulação, pátios de recreação e áreas de alimentação. Na visão de Cha e Kim (2015), seria ideal se, na prática, suficiente espaço confortável pudesse ser fornecido para todos

os alunos e suas atividades, não se levando em consideração o tamanho do espaço ou seu custo.

Entretanto, de acordo com os autores, o fornecimento deste espaço é quase impossível ou bastante ineficiente, especialmente em *Campi* urbanos, nos quais cada metro quadrado de espaço possui alto valor financeiro. Por isso, o *design* e o planejamento precisam considerar o espaço de cada estudante, que é determinado por suas escolhas espaciais. Para os autores, os cinco principais atributos na escolha espacial são: tamanho do espaço, nível de barulho, lotação de outras pessoas, conforto do mobiliário e limpeza. A importância de cada atributo varia de acordo com o usuário e seu perfil.

Em se tratando de arquitetura e concepção de projetos escolares, é fundamental trazer a pesquisa de Frandoloso (2001) que determinou os elementos que deverão ser considerados na elaboração de projetos de edificações educacionais. Por meio da análise da Figura 1, constata-se a importância de que estes elementos sejam utilizados mutuamente na concepção de projetos arquitetônicos, pois exercem influência sobre a evolução do aprendizado, possuindo um nível de importância elevado (Bernardi e Kowaltowski, 2001; Azevedo, 2002).



**Figura 1-** Elementos de projetos educacionais.

**Fonte:** Adaptado de Frandoloso (2001)

A Figura 1 reflete a importância da adoção dos elementos apresentados na concepção de projetos arquitetônicos escolares, uma vez que se possa obter o progressivo aumento da qualidade dos ambientes e de forma que espaços criados reflitam as preocupações vigentes e, de fato, a educação cumpra seu papel de agente de desenvolvimento das potencialidades. Portanto, as exigências pedagógicas devem estar no âmago do projeto arquitetônico. (Frandoloso, 2001)

Além da discussão a respeito dos elementos apresentados na Figura 1, destaca-se a visão de Azevedo (2002), pois afirma que é evidente a complexidade dessa temática, principalmente considerando-se a postura usualmente assumida por educadores e arquitetos perante o ambiente escolar. Em geral, os primeiros desconsideram a importância do espaço físico para o desenvolvimento de uma filosofia pedagógica, ou filosofia da educação, relegando sua condição de agente ativo no processo de construção do conhecimento; enquanto os últimos minimizam o principal objetivo da edificação escolar, que é fornecer suporte e condição para que essa filosofia possa ser efetivada.

O tema não se esgota facilmente, Nogueira et al. (2008) comentam, ainda, que a escolha do terreno, da orientação da edificação, do uso de iluminação natural, da tipologia arquitetônica, dos materiais construtivos adequados às características climáticas, do paisagismo e a manutenção constante dos equipamentos são alguns dos requisitos importantes para que o projeto de edificações escolares atenda às necessidades dos usuários, evitando o desperdício de recursos, além de garantir o conforto interno. Segundo os autores, o papel dos arquitetos, engenheiros, técnicos, projetistas e demais profissionais na adequação dos edifícios à dinâmica das transformações contemporâneas é imprescindível, pois são eles os responsáveis pela elaboração de projetos e otimizações dos espaços, com soluções que forneçam eficiência energética e, principalmente, garantam o conforto ambiental para usuários.

O desempenho ambiental de uma edificação solicita a perfeita integração com o meio, no sentido de abrigar seus usuários das intempéries. O conforto ambiental e a utilização apropriada dos materiais nas obras são dois dos principais parâmetros utilizados na medida da qualidade ambiental da edificação, influenciando também diretamente na sua eficiência energética. (Souza, 2008)

Porém, Dalvite et al. (2007) demonstram que as fragilidades e os problemas de conforto dos espaços são decorrentes da falta de planejamento de projeto, da implantação e orientação solar inadequadas. Os autores ressaltam que muitos projetos escolares são, muitas vezes, meras repetições de um partido adotado como padrão, não levando em conta as particularidades de cada região de inserção, do terreno e do entorno.

Azevedo (2002) destaca que educadores raramente incluem o prédio escolar em suas propostas pedagógicas e os arquitetos, por sua vez, tratam o projeto como uma atividade intuitiva, considerando possuírem o saber e a autonomia suficientes para equacionar o problema. A complexidade das atividades desenvolvidas no ambiente escolar é então pouco explorada pelos projetistas que desconhecem a lógica de utilização do espaço pelo usuário.

Não somente os recursos pedagógicos determinam o êxito do processo educacional, mas também o ambiente físico deve ser encarado como determinante neste processo. Fatores físico-ambientais interferem no processo educativo caso estejam ou não adequados aos fatores humanos. A utilização de mobiliários e equipamentos projetados adequadamente ao aluno (usuário), de acordo com suas medidas antropométricas e a

realização das tarefas nas salas de aula, aliados aos fatores ambientais, tais como iluminação, ventilação, temperatura, entre outras, são fundamentais para um maior desempenho escolar (Luz et al., 2005). Toledo e Pezzuto (2011) ressaltam que o conforto ambiental proporcionado pelo ambiente da sala de aula aos usuários é essencial para a concentração de alunos e professores, melhorando o desempenho de suas respectivas tarefas.

Essas necessidades de conforto envolvem variáveis, dentre as quais se destacam as condições acústicas, térmicas e lumínicas dos locais. O ambiente escolar deve proporcionar condições adequadas de conforto, garantindo o bem-estar dos ocupantes e estimulando a realização das tarefas. É imprescindível que a comunicação entre professor e aluno seja compreendida, que a visualização seja nítida e que ocorra uma climatização adequada do espaço. (Dalvite et al., 2007)

Em relação aos estudos internacionais nessa temática, o trabalho de Tanner (2009), realizado nos Estados Unidos, explica que o espaço dentro de uma sala de aula transmite uma mensagem silenciosa para o aluno, na qual o fluxo e a diferença da distância entre as pessoas compõem grande parte do processo de comunicação. Deve-se dar atenção particular para a circulação dentro de um edifício escolar, pois isto permite que os alunos se desloquem rapidamente de uma parte do prédio para outra. Caminhos livre de obstruções entre locais de atividade e salas de aula melhoram a utilização dos espaços de aprendizagem.

Nesse sentido, o Quadro 1 demonstra as influências observadas em função das características da edificação. Tanner (2009) ainda destaca que a luz do dia dentro de uma sala de aula é importante para o processo de aprendizagem. Luz natural e janelas nos dois lados da sala permitem uma visão mais leve, que atravessa as quatro paredes da sala de aula, e ajuda a descansar os olhos. Uma vista irrestrita da natureza soma para o bem-estar de alunos e professores. Olhar para um estacionamento ou a parede de outro prédio é indesejável.

Quadro 1 - Influência do movimento, luz e padrões de vista.

<b>Característica da edificação</b>	<b>Influência observada</b>
<b>Movimento e circulação</b>	Influenciaram significativamente, mas notas de leitura, artes da linguagem, matemática e ciências.
<b>Luz do dia</b>	Não influenciou tanto nas notas de Matemática, mas influenciou bastante em Ciências e Vocabulário.
<b>Padrões de visão da sala</b>	Influenciaram fortemente no vocabulário, artes da linguagem e matemática.

Fonte: Tanner (2009)

Como resultado da pesquisa, Tanner (2009) conclui que os espaços e locais nos quais os alunos aprendem fazem diferença nos níveis de aprendizagem. A pesquisa recomenda que os estudantes tenham uma vista livre de, no mínimo, 17 metros.

Em outro artigo, Tanner (2008) conclui que, infelizmente, muitos educadores que tomam decisões, professores, membros da diretoria de escolas, pais e arquitetos acreditam que as características intrínsecas das salas de aula têm pouca relação com o processo de aprendizagem dos alunos.

Portanto, é mister incluir a visão pedagógica no projeto arquitetônico. Neste contexto, Tibiriçá (2008) afirma que é necessário discutir com todos os envolvidos e interessados (alunos, professores, líderes comunitários e outros) a construção do espaço escolar. Na visão de Godoi (2010), os principais usuários (professores, funcionários e alunos) deste ambiente são os mais prejudicados, que podem sofrer com o déficit de atenção, queda de produtividade e rendimento nas atividades desenvolvidas. Sendo assim, o principal objetivo, a educação, é prejudicado pela estrutura física implantada.

As exigências das edificações escolares são relativas aos aspectos determinados pelas demandas locais. Uma escola adequada, provavelmente, é aquela que, dentre outras coisas, responde positivamente às necessidades de toda a comunidade envolvida: professores, administradores, pais e alunos. (Frandonoso, 2001)

Em se tratando de envolvimento escolar, importante ressaltar a pesquisa de Azevedo (2002), o qual demonstra a importância da reflexão acerca da necessidade de um processo que incorpore metodologias participativas, como tentativa de inovação das práticas convencionais e incorporação da dimensão humana no processo, criando importantes vínculos afetivos entre o ambiente e aqueles que o vivenciam. As soluções espaciais resultantes irão responder mais às expectativas e à idealização de uma imagem compartilhada por seus usuários, valorizando a arquitetura escolar e reforçando seu significado de representação social.

Usaini e Bakar (2015) entendem que o processo educacional ocorre em um ambiente físico, social, cultural e psicológico. O ambiente escolar possui importância moldando e remoldando as habilidades intelectuais. Relações fracas entre professores e alunos têm efeitos diversos no ambiente de aprendizagem. Portanto, alunos de escolas



que têm instalações adequadas, bom relacionamento discente e docente e ambiente de aprendizagem favorável geralmente possuem desempenho escolar satisfatório.

Tendo em vista a interdisciplinaridade do tema, Eric (2005) relata que o ambiente social escolar tem uma grande influência sobre a aprendizagem e crescimento estudantil, incluindo importantes aspectos de seu desenvolvimento social, emocional e ético. Por meio da Figura 2 o autor demonstra quais são os fatores que compõem o ambiente social escolar.

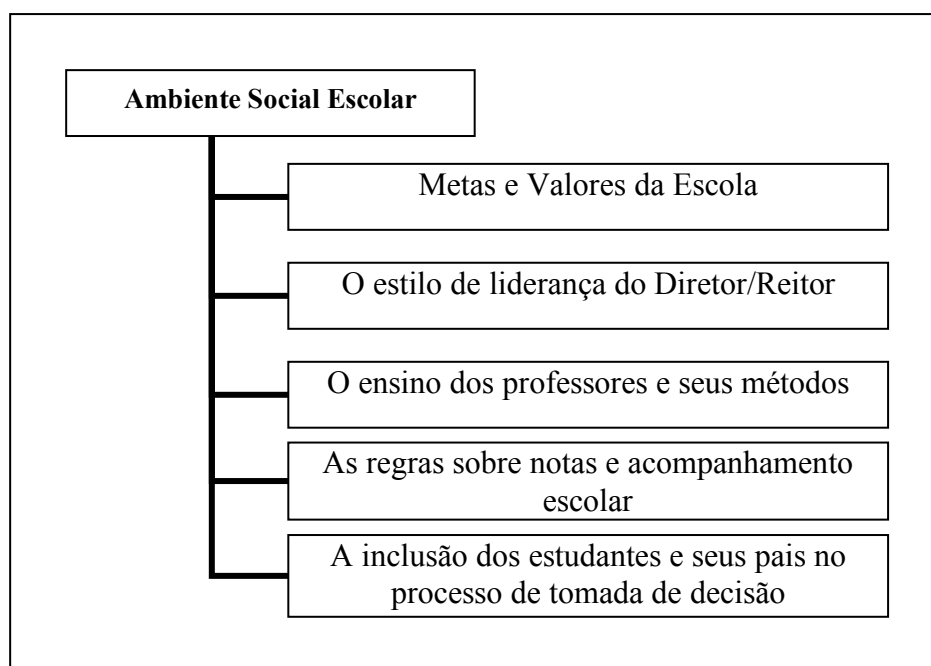


Figura 2- Fatores que compõem o ambiente social escolar.

Fonte: Adaptado de Eric (2005)

Dessa forma, pode-se entender que o ambiente escolar é muito mais do que apenas salas de aula e carteiras. Constitui-se de diversos fatores arquitetônicos, sociais e culturais. Neste contexto holístico, Cortez e Faria (2011) destacam que as relações humanas, embora complexas, são peças fundamentais na realização comportamental e profissional de um indivíduo. Portanto, a análise dos relacionamentos entre professor/aluno envolve interesses e intenções, sendo esta interação o expoente das consequências, pois a educação é uma das fontes mais importantes do desenvolvimento comportamental e agregação de valores nos membros da espécie humana.

Korir e Kipkemboi (2014) entendem que o diretor/reitor e os professores, por meio de seus papéis específicos, têm influência positiva ou negativa sobre a *performance* acadêmica, assim é fundamental que a escola tenha um bom método de ensino e que sejam

fornecidas instalações de aprendizagem adequadas para motivar os estudantes. Afirmam, ainda, que os fatores escolares são aqueles citados na Figura 3:

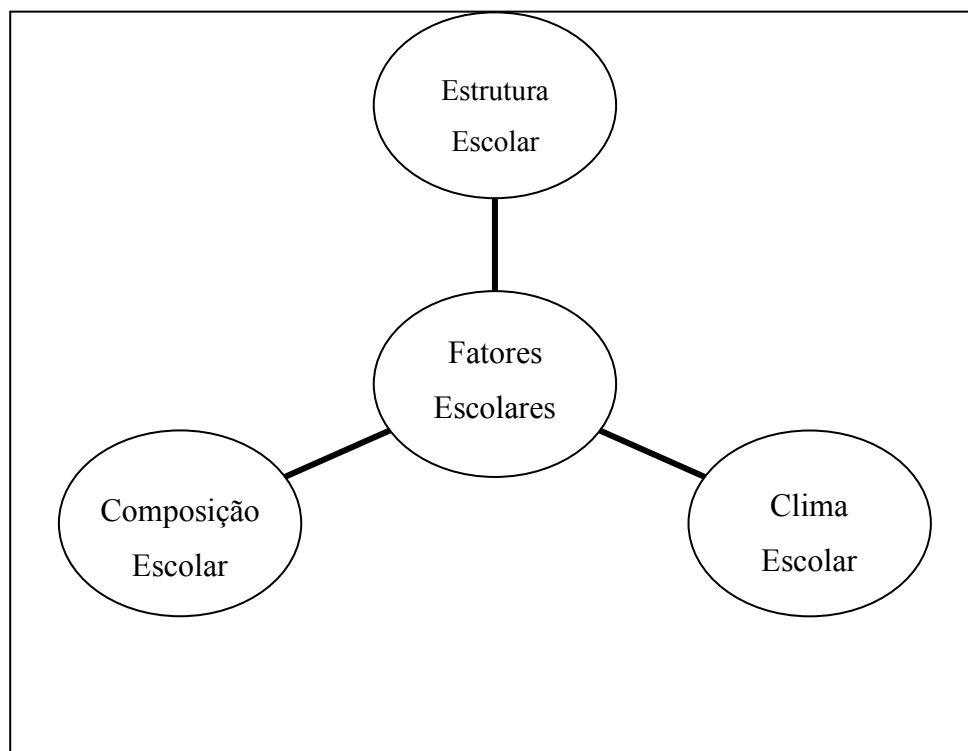


Figura 3- Fatores escolares.

Fonte: Adaptado de Korir e Kipkemboi (2014)

Para os autores, a estrutura escolar engloba as instalações de uma forma geral; a composição escolar consiste na formação acadêmica e profissional dos docentes e funcionários administrativos; e o clima escolar reflete as relações interpessoais entre alunos e professores.

Nogueira et al. (2008) afirmam que, no processo de ensino-aprendizagem que ocorre em sala de aula, é necessário que o ambiente físico seja adequado às condições mínimas de conforto ambiental, de forma a contribuir, de forma positiva, no desempenho das atividades desenvolvidas por alunos e professores. Porém, os níveis de satisfação dos usuários de uma edificação envolvem diversos aspectos, tais como a segurança, estabilidade, durabilidade, e os aspectos de conforto, tais como térmico, lumínico, acústico e ergonômico, sendo este último de muita importância em ambientes escolares.

Ochoa, Araújo e Sattler (2012) explicam que, para se atingir um desempenho ambiental satisfatório, é necessário um correto planejamento arquitetônico diante das diferentes condições climáticas que influenciarão nas condições térmicas (temperatura,

vento e umidade), na qualidade acústica (proteção de ruídos intrusivos, inteligibilidade do professor pelos alunos e vice-versa) e, ainda, nas condições ideais de visão e iluminação, natural ou artificial, proteção contra poluição e qualidade interna do ar, estabilidade estrutural da edificação, salubridade, higiene, segurança, dentre outros.

Cabe aos arquitetos a elaboração de projetos de edificações escolares cujo objetivo seja o de contribuir para o progressivo aumento da qualidade dos ambientes escolares, e, conseqüentemente, para que os espaços criados reflitam as preocupações vigentes e, de fato, a educação cumpra seu papel de agente de desenvolvimento das potencialidades da criança, sociabilizando-a e ampliando a sua criatividade e o seu senso crítico. (Frandonoso, 2001)

Fonseca et al. (2010) mencionam que, ao se projetar uma edificação visando atender aos conceitos do bioclimatismo na arquitetura, se observa a importância de se definir estratégias bioclimáticas nos estágios iniciais do projeto.

Na visão de Ribeiro (2007), os ambientes são compreendidos, observados e julgados de maneiras diversas por arquitetos, cientistas sociais e usuários leigos. Em síntese, levando-se em consideração a herança e as variáveis culturais, o significado do ambiente construído difere de acordo com as categorias de agentes do processo decisório de produção e uso desse mesmo ambiente.

Decisões de arquitetura em fases iniciais de projeto, tais como implantação, uso de áticos ventilados, instalação de elementos de sombreamento nas fachadas, poucas aberturas na fachada oeste, grandes envidraçados com controle do ganho térmico, cores claras nas fachadas e coberturas, cobertura naturada e materiais de construção que proporcionem baixa transmitância térmica; somadas ao bom projeto de aberturas que proporcionem ventilação cruzada interior, são fundamentais para um bom projeto arquitetônico (Fonseca et al., 2010)

O meio urbano apresenta-se como resultado das diversas intervenções de uma determinada sociedade, em um dado momento histórico, que reflete as interconexões de todos os elementos que estiveram presentes em seu processo. Dessa maneira, Freitas e Azerêdo (2013) explicam que, independentemente da proposta de estudo, (re) qualificação, (re)vitalização, urbanização ou (re)novação, ao se debruçar sobre as possíveis intervenções em uma determinada área, deve haver, antes de mais nada, um

prévio conhecimento da área de estudo, para poder identificar as suas necessidades. É sempre pertinente inserir o aluno em um contexto urbano e arquitetônico já existente.

Dalvite et al. (2007) explicam que o excesso de reverberação das salas de aula, consiste em um problema de ordem acústica, que prejudica a inteligibilidade das palavras e a compreensão da mensagem passada pelo professor. Por fim, completam-se as necessidades básicas de conforto com a avaliação das condições lumínicas dos locais. A iluminação desempenha papel fundamental para a execução das atividades, pois é por meio dela que se tem a percepção visual dos espaços e do objeto foco da atenção. No caso de ambientes de aprendizagem, é necessária a perfeita visualização do que está escrito no quadro de giz, além de um nível de iluminância adequado sobre o plano de trabalho de cada aluno. Todos esses condicionantes, que afetam o conforto acústico, térmico ou lumínico dos locais, devem estar intrínsecos no processo de concepção projectual da edificação. Os autores discutem que, de um modo geral, é muito mais fácil e barato prevenir esses problemas do que tentar resolvê-los mais tarde.

Na visão de Luz et al. (2005), o posto de trabalho de um aluno é composto pela carteira e pela cadeira que ele utiliza dentro da sala de aula, considerando que a sala de aula consiste em um ambiente de trabalho como outro qualquer, onde as pessoas realizam tarefas específicas e também é a porção mais simplificada de um complexo sistema de ensino. Assim, para que se tenha uma maior eficiência na relação pedagógica do conhecimento entre o professor e o aluno, é preciso adequar o posto de trabalho e o ambiente aos sujeitos envolvidos neste contexto. Tal adequação permite ao aluno a realização de tarefas na sala de aula, em situação confortável, assim como a transmissão de informações será maior quanto melhor estiverem as condições do meio.

Luz et al. (2005) destacam, ainda, que é importante disponibilizar informações que possibilitem estudo e que apresentem finalidade para contribuir no desenvolvimento da ergonomia nas expectativas para a educação no novo milênio, para que o ambiente de sala de aula possa ser considerado como o ambiente de trabalho tanto do professor como do aluno, enfocando o verdadeiro papel da ergonomia na educação.

Deve-se despertar a conscientização de que o planejamento adequado dos ambientes escolares transcende aspectos dimensionais ou econômicos, envolvendo a contemplação de todas as sensações do ser humano e a manutenção de seu bem-estar.

Essas questões são de total relevância para o pleno desenvolvimento das capacidades intelectuais e para garantia de um futuro mais saudável e próspero. (Dalvite et al., 2007)

A integração do usuário com o ambiente deve gerar atitudes no próprio indivíduo que, ao modificar o espaço físico que ele utiliza, pode melhorar as condições de conforto. Além de interferir no ambiente físico, o usuário também exerce controle sobre as condições individuais relacionadas à atividade, vestimenta e ao posicionamento no ambiente. (Bernardi & Kowaltowski, 2001)

Godoi (2010) chama atenção para o enfoque da educação, que se revela como mais do que uma reparação para o futuro, mas um processo permanente, preparando o indivíduo para o fluxo da vida, impedindo-o de paralisar no comodismo e conformismo, e para que sempre esteja se projetando para a revisão e reformulação constante.

A qualidade ambiental dos ambientes internos afeta não apenas escolas de nível primário e secundário, mas também instituições de ensino superior. Portanto, na visão de Jurado et al. (2009), a qualidade interna ambiental de espaços educacionais precisa ser considerada como importante problema de saúde pública.

Almeida e De Freitas (2014) ressaltam a importância das condições do ambiente interno no meio acadêmico. Segundo os autores, a qualidade ambiental interna do ar está vinculada à saúde, ao conforto e à *performance* dos estudantes. Assim, na visão destes autores, as condições internas das salas devem ser avaliadas e, a partir dos resultados obtidos, soluções otimizadas devem ser estabelecidas e cuidadosamente projetadas e executadas, a fim de possibilitar os efeitos desejados.

De acordo com Sarbu e Pacurar (2015), a importância do conforto térmico em ambientes internos não pode ser subestimada, especialmente em edifícios educacionais. O desconforto térmico pode criar condições não satisfatórias que diminuirão a *performance* e a produtividade dos estudantes.

Em instituições de ensino, de uma forma geral, a qualidade interna ambiental é fundamental para um bom desempenho dos estudantes. Segundo Wargocki e Wyo (2013), as condições ambientais em diversas escolas fundamentais são comumente inadequadas, inclusive em países desenvolvidos, sendo muitas vezes piores do que prédios comerciais. De acordo com os autores, isto é causado, muitas vezes, porque os recursos financeiros

para manutenção e melhoramento de edifícios escolares são insuficientes, e, também, porque as escolas permitem que as temperaturas internas em salas de aula passem da temperatura recomendada de 20-22° C. Dessa forma, como consequência das condições inadequadas do ambiente interno das salas de aula, os estudantes poderão apresentar uma redução de até 30% em seu aproveitamento acadêmico.

Para Dalvite et al. (2007), a maioria das escolas é considerada quente no verão, resultado que pode estar relacionado com a orientação das aberturas e a inadequação dos elementos de proteção solar, gerando insolação excessiva. O conforto visual necessita de uma iluminação adequada para a orientação espacial, manutenção da segurança física e o reconhecimento das atividades. A acústica inadequada nas escolas deve-se a problemas de ruído de impacto, vozes, reverberação, além de ruídos externos. A lotação excessiva das salas também pode criar problemas acústicos negativos para o ambiente escolar e a funcionalidade tem reflexos na produtividade dos usuários, uma vez que o arranjo físico e a ergonomia dos equipamentos podem interferir no desempenho das atividades.

Os problemas de desconforto térmico identificados nas escolas, causados por excesso de calor no verão, decorrem principalmente da orientação solar inadequada de alguns espaços. Salas de aula com aberturas voltadas para leste, nordeste, oeste ou noroeste recebem muita insolação direta pela manhã e pela tarde, aumentando os ganhos de calor, além de provocar ofuscamento. Neste sentido, são necessárias proteções solares, como cortinas internas ou brises externos. As cortinas, quando fechadas, diminuem a quantidade de iluminação natural e não permitem uma ventilação adequada dos espaços. Esses acontecimentos formam uma cadeia de consequências que afetam o conforto térmico e lumínico. Os brises externos são uma solução mais eficaz, à medida que permitem iluminação e ventilação. Porém, devem ser posicionados e dimensionados corretamente, de acordo com o movimento do sol, fato que, muitas vezes, não é observado nas escolas, com equívocos de projeto que acabam por tornar o elemento menos eficiente. As orientações norte e sul são as mais recomendadas para salas de aula. No Norte, pode-se controlar mais facilmente a entrada do sol, permitindo um aquecimento maior no inverno. No sul, existe uma maior uniformidade de iluminação natural, não sendo necessárias proteções solares. No entanto, no inverno, agrava-se o problema de desconforto por frio. (Dalvite et al., 2007)

Portanto, o projeto de ambientes de instituições de ensino apresenta grande influência sobre a aprendizagem cognitiva dos indivíduos e diversos outros fatores interligados. Além do fator arquitetônico do ambiente construído, existem outros fatores que exercem influência direta sobre o desempenho cognitivo, tais como temperatura, níveis de CO<sub>2</sub>, velocidade do ar etc., conforme será discutido no tópico subsequente.

## 2.2 Conforto ambiental em ambientes construídos

Diante da diversidade de parâmetros utilizados nesta pesquisa, torna-se fundamental apresentar as definições teóricas dos parâmetros que serão utilizados de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2 - Definições das variáveis utilizadas nesta pesquisa.

Variáveis	Definição
<b>Parâmetro ambientais</b>	Parâmetros do ambiente térmico que afetam a sensação de conforto. (NBR 16401-2/2008 Instalações de ar-condicionado)
<b>Conforto ambiental</b>	- Conforto térmico - Conforto visual - Conforto acústico - Qualidade interna do ar Lee et al (2012) e Frandoloso (2001)
<b>Ar interior de qualidade aceitável</b>	Ar que não contém poluentes em concentração prejudicial à saúde ou ao bem-estar e é percebido como satisfatório por grande maioria (80% ou mais) dos ocupantes do recinto. (NBR 16401-3/2008 Instalações de ar-condicionado)
<b>Zona de respiração</b>	Região ocupada de um espaço ventilado situado entre os planos horizontais localizados entre 0,8m a 1,8m do piso e distante de 0,6m das paredes ou de componentes do sistema de tratamento de ar. (NBR 16401-3/2008 Instalações de ar-condicionado)
<b>Zona ocupada</b>	Região do recinto normalmente ocupada por pessoas, compreendida entre o piso e 1,8m, e afastada mais de 0,3 m das paredes internas, e mais de 1,0 m das paredes e janelas externas e de componentes dos sistemas de ar condicionado. (NBR 16401-2/2008 Instalações de ar-condicionado)
<b>Metabolismo</b>	Taxa de transformação de energia química em calor e trabalho mecânico por atividades metabólicas no organismo. Normalmente expresso em termos de transferência de calor (Watts) por área de troca de calor do corpo humano (metros quadrados). (NBR 16401-2/2008 Instalações de ar-condicionado)
<b>Temperatura do ar</b>	Temperatura de bulbo seco do ar no entorno dos ocupantes. (NBR 16401-2/2008 Instalações de ar-condicionado)
<b>Temperatura de globo</b>	Temperatura medida no interior de um globo metálico de 150 mm de diâmetro, pintado de negro

	(emissividade igual a 0,95), parede fina. (NBR 16401-2/2008 Instalações de ar-condicionado)
<b>Velocidade do ar</b>	Taxa de movimentação do ar em um determinado ponto, sem considerar a direção. (NBR 16401-2/2008 Instalações de ar-condicionado)
<b>Temperatura operativa</b>	Temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual uma pessoa trocava a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente não uniforme real. (NBR 16401-2/2008 Instalações de ar-condicionado)

Fonte: Adaptado pelo autor

A sociedade sempre buscou aliar a arquitetura às suas necessidades. De início, como função de abrigo seguro, para se proteger das intempéries climáticas. Posteriormente, com o passar do tempo, novas exigências fizeram com que se buscassem as condições necessárias para que os espaços interiores pudessem lhe garantir melhores condições de habitabilidade, especificamente, quanto ao conforto ambiental, seja ele térmico, lumínico ou acústico. (Freitas & Azerêdo, 2013)

O controle do entorno e a criação de condições adequadas às necessidades do homem e ao desenvolvimento de suas atividades são questões que têm sido objeto de preocupação desde suas origens. O homem responde às situações de desconforto por meio de trocas térmicas, visando o equilíbrio energético entre o corpo e o meio. Para tanto, lança mão de processos metabólicos (mecanismos termorreguladores) para ganho e perda de calor. Esse equilíbrio depende da atividade física e da vestimenta do indivíduo e sofre variações de acordo com o local onde cada atividade é desenvolvida. (Franceloso, 2001)

Para Gabrielli (2014), as mudanças climáticas têm provocado a elevação sensível da temperatura do planeta. Isso influencia diretamente o papel do arquiteto, que almeja projetar edifícios energeticamente eficientes e que proporcionem conforto térmico aos habitantes de uma edificação. O isolamento térmico na construção tem duas finalidades básicas: economia de energia e conforto térmico.

Nos edifícios, as pessoas ficam sujeitas a ambientes térmicos criados artificialmente para que se sintam em conforto e possam desenvolver melhor as suas tarefas. Se o objetivo é atingido, a pessoa tem uma sensação de bem-estar, expressa pela sua satisfação com aquele ambiente térmico. Entretanto, em condições térmicas diferentes daquelas nas quais a maioria das pessoas se sentiria confortável, o organismo provoca reações desencadeadas pelo sistema termorregulador que age no sentido de manter constante a temperatura interna do corpo frente às variações térmicas externas. Esta ação mais intensa do sistema termorregulador acarreta uma sensação de desconforto, para uma



dada atividade (metabolismo), podendo, essa sensação, ser associada ao nível de atuação do sistema por meio de um índice que leva em conta o grau de afastamento das condições de conforto. (Adaptado de Leite, 2003)

Uma das funções da arquitetura é oferecer, ao ser humano, condições térmicas compatíveis ao conforto ambiental humano no interior dos edifícios, não importando as condições climáticas externas. Todavia, a intervenção humana, no ato da construção de seus edifícios, altera as condições climáticas locais, das quais também depende a resposta térmica da edificação. (Ribeiro, 2007)

O conhecimento das exigências humanas de conforto térmico e do clima, associado ao das características térmicas dos materiais e das premissas genéricas, para o partido arquitetônico adequado a climas particulares, proporciona condições para se projetar edifícios e espaços urbanos cuja resposta térmica atenda às exigências de conforto térmico. O uso da energia de maneira racional permite a adequação da arquitetura ao clima, evitando ou reduzindo os sistemas de condicionamento artificial de ar, quer com a finalidade de refrigerar, quer com a de aquecer os ambientes. Os controles térmicos naturais favorecem a redução do excesso de calor no interior dos edifícios, reduzindo, por vezes, os efeitos de climas excessivamente quentes. (Ribeiro, 2007)

O conforto térmico, sem dúvida, é responsável por uma grande parcela do conforto ambiental, seja nas residências, seja nas escolas ou comércio. (Nogueira et al., 2005)

De uma primeira parte, os aspectos objetivos, relacionadas à casa, ao clima, aos elementos físicos constitutivos do organismo humano ou de suas atividades, são caracterizados pelas variáveis físico-ambientais – condições climáticas locais e da edificação – variáveis individuais biofísicas – biótipo, vestimenta e atividade – e socioeconômicas – renda, escolaridade, e outros dados que podem facilmente ser convertidos em números. Em se tratando dos aspectos subjetivos, compreende-se que tanto variáveis individuais – elementos sensoriais e perceptivos dos sujeitos – quanto sociais – condições culturais e históricas do grupo e suas representações sociais – devem igualmente ser levadas em consideração. Esses aspectos subjetivos podem, em algumas situações, serem mais determinantes para a satisfação dos usuários com o ambiente do que qualquer outro aspecto objetivo. (Correia, 2010)

De acordo com Correia (2010), existem três tipos de variáveis que influenciam o conforto térmico, sendo elas físico-ambientais, individuais e sociais. As duas primeiras

são consideradas objetivas, pois podem ser mensuradas; a terceira é denominada subjetiva, no sentido de que a parte social do indivíduo, o ou seja, sua relação e experiência com o mundo também influenciam o conforto térmico, como pode ser visto na Figura 4.

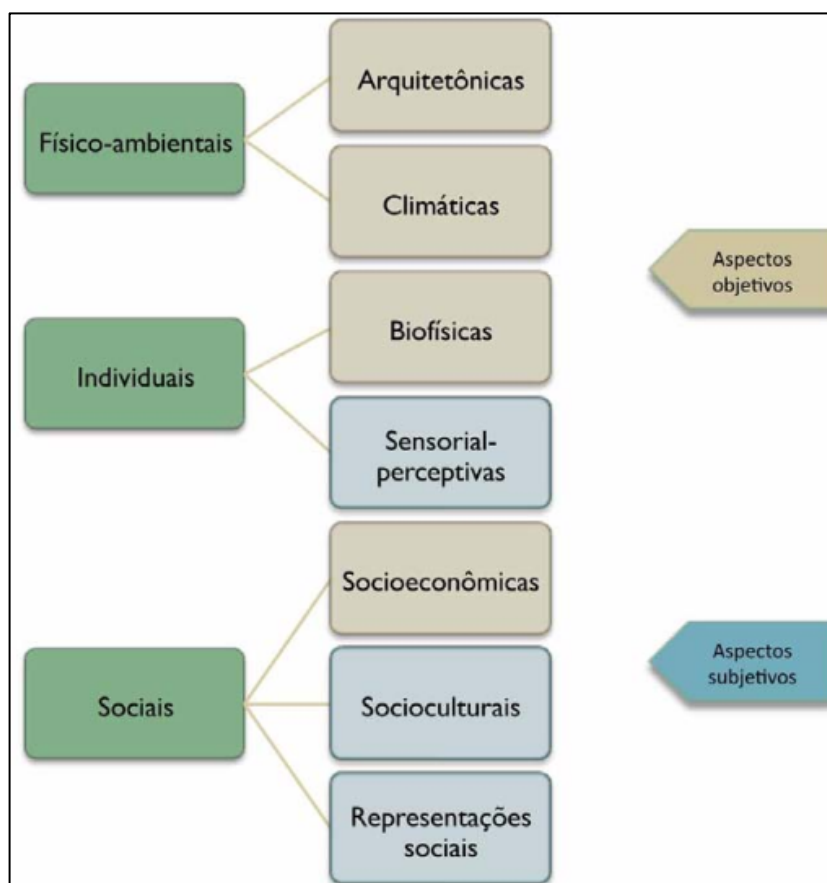


Figura 4- Tipos de variáveis consideradas na pesquisa e aspectos objetivos e subjetivos

Fonte: Correia (2010)

A relevância que cada um desses aspectos pode ter na sensação de conforto e satisfação do usuário é um elemento importante para as discussões que se apresentam neste trabalho, mas certamente não se esgotam nele.

Freitas e Azerêdo (2013) ressaltam a importância da utilização de cores claras nas superfícies externas das edificações, que têm uma maior capacidade de refletir a radiação solar direta e indireta, visando fugir do incremento dos ganhos de calor, por meio das cores escuras, que absorvem mais essa radiação, e, portanto, aquecem mais o ambiente interno. Do mesmo modo, sugere-se especificar cores claras para as maiorias das superfícies internas. Aliadas à correta tipologia e à morfologia da edificação, tendem a minimizar os ganhos de calor interno, com o máximo aproveitamento da luz solar,

obviamente durante o dia, e reduzindo ao período noturno a necessidade de utilização de luz artificial; como consequência, tem-se a diminuição do custo energético.

Outros componentes que determinam o conforto ambiental são o projeto da edificação e de cada ambiente interno, a atividade exercida pelos usuários no local, a lotação do ambiente, o vestuário usado pelos ocupantes e, por fim, o comportamento dos indivíduos, que vai influir no ajuste do próprio conforto. (Bernardi & Kowaltowski, 2001)

Fonseca et al. (2010) explicam que elementos externos à edificação, como pergolados, brises, varandas e marquises, garantem o sombreamento e a diminuição da incidência de radiação solar direta, permitindo somente a entrada de luz natural. O tratamento do entorno do edifício também pode favorecer a diminuição da temperatura do ar que entra nos ambientes, utilizando-se, por exemplo, árvores, arbustos e forrações. Os brises são reconhecidos por seus benefícios em relação à redução do ganho térmico nas edificações. Os autores destacam, ainda, a importância da ventilação cruzada que permite a circulação do ar no interior do ambiente da sala de exposição e recepção, renovando o ar e melhorando a sensação térmica no interior da edificação.

Portanto, entende-se que os ambientes naturalmente ventilados têm muito a contribuir, tanto em relação aos aspectos relacionados aos recursos ambientais, bem como para a qualidade do ar interno e para a saúde de seus ocupantes, além de tornarem-se mais adaptáveis às necessidades e características de quem os ocupa, pois suas entradas e saídas de ar podem ser manipuladas em função das variações ambientais que interferem no conforto dos usuários. (Oliveira, Xavier & Torres, 2013)

Estendendo o conceito, a previsão de instalação de painéis solares, o uso racional de água e a captação de água da chuva para reuso em irrigação agregam medidas que enfatizam que a sustentabilidade pode ser um diferenciador na qualidade final do produto arquitetônico. (Fonseca et al., 2010)

A preocupação com a qualidade interna do ar em edifícios é destacada por Melikov e Kaczmarczyk, (2012). De acordo com os autores, a baixa qualidade do ar interno aumenta significativamente a possibilidade de ocorrência do fenômeno denominado “*sick building*”, que causa prejuízos a saúde dos usuários do edifício (causando doenças respiratórias em geral) e piora *performance* do trabalho desses. Os autores destacam que a qualidade interna do ar é determinada por dois principais fatores. O primeiro é a composição química do ar interno e seus componentes. O segundo está

conectado com a percepção subjetiva do ar. Os ocupantes avaliam a qualidade do ar como boa quando o ar é percebido como fresco e agradável, porém não são capazes de avaliar diretamente os riscos de saúde causados pela respiração deste ar.

Neste sentido, é fundamental demonstrar os principais poluentes químicos do ambiente interior. De acordo com a Abnt NBR:16401-2/2008 “Instalações de ar-condicionado- Parte 3: Qualidade do ar interior”; os principais poluentes do ambiente interior são os descritos no Quadro 3.

Quadro 3 - Concentração máxima de alguns poluentes do ambiente interior.

<b>Poluente</b>	<b>Limite</b>	<b>Fontes</b>	<b>Comentários</b>
<b>Monóxido de Carbono (CO)</b>	9 ppm (8h)	Queima de combustíveis, e gás, gasolina, óleo diesel, carvão etc.	Ambientes com elevadas concentrações de CO devem ser investigados, para localização da fonte.
		Captação de ar de garagens e estacionamento ou de ruas muito movimentadas.	O CO é um gás asfíxiante que reduz a oxigenação do sangue.
		Vazamentos de aquecedores ou caldeiras a gás.	Limite estipulado com base na sensibilidade de pessoas com enfermidades coronárias.
<b>Formaldeído (HCHO)</b>	27 ppb (8h)	Colas, verniz, retardantes de chamas, aglomerados de madeira	Inalação de elevadas concentrações de formaldeído pode causar sintomas respiratórios, irritação nos olhos, nariz e garganta.
			Estudos relacionam o formaldeído ao câncer de pulmão e câncer das células naso-faríngeas.
			A EPA classificou o formaldeído no Grupo B1 –provável carcinogênico humano com risco de nível médio.
<b>Dióxido de nitrogênio</b>	100µg/m <sup>3</sup>	Vazamento de equipamentos com queima incompleta de combustível (caldeiras, fogões, aquecedores).	É um irritante de mucosas dos olhos, nariz e garganta, sendo ainda um indutor de crise de asma.
		Cigarro.	O dióxido de nitrogênio ambiental é um componente de chuva ácida (os aerossóis ácidos).
		Queima de gás, gasolina, diesel, gás natural, carvão, óleo.	
<b>Material Particulado (PM<sub>10</sub>)</b>	50µg/m <sup>3</sup>	Degradação do material sólido. Poeira proveniente de limpeza, processos industriais, trânsito, queima de combustível, fragmentação de papel etc.	Baseado em proteger a população em geral de doenças respiratórias e evitar a indução de crise de asma. Exposição média de um ano, se não possuir material carcinogênico.
			Irritação de olhos, nariz e garganta.
			Cofator de bronquites e crises de asma.

<b>Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>)</b>	50µg/m <sup>3</sup>	Queima de carvão e óleo que contenham elevadas concentrações de enxofre.  Normalmente deve ser pesquisado em usinas siderúrgicas e papel.	Problemas respiratórios e danos irreversíveis ao pulmão.
<b>Ozônio (O<sub>3</sub>)</b>	100µg/m <sup>3</sup> (8)	Campos eletromagnéticos Equipamentos de escritório Geradores de ozônio Ar exterior	Causador de problemas respiratórios, redução da função, asma, irritante dos olhos, nariz, reduz a resistência orgânica aos resfriados e outras infecções.  O ozônio em baixos níveis de concentração pode contribuir à degradação da qualidade do ar de interiores, pela formação de substâncias indesejadas pela oxidação.
<b>Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	3500 ppm	Combustão completa de produtos orgânicos.  Respiração humana	O CO <sub>2</sub> não é tóxico, irritante e de nenhuma maneira nocivo à saúde ou ao bem-estar, exceto em concentrações altas, quando desloca o oxigênio do ar em proporção tal que dificulta a respiração, podendo se tornar fator asfíxiante.
<sup>a</sup> <i>US EPA – Environmental Protection Agency – 2000 – National ambient air quality standards</i>			
<sup>b</sup> <i>California Environmental Protection Agency – Office of Environmental Health Hazard Assessment – 1999</i>			
<sup>c</sup> <i>US FDA – Food and Drug Administration – 1986 – Code of federal regulations – Title 21 – Maximum acceptable levels of ozone</i>			
<sup>d</sup> <i>Health Canada – 1995 – Exposure guidelines for residential indoor air quality</i>			

Fonte: Abnt NBR 16401-3 Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 3: Qualidade do ar interior, anexo B

A respeito do Quadro 3 é importante destacar que os valores indicados têm caráter informativo, mas deve-se mencionar a Portaria n.º 3.523/1998 do Ministério da Saúde e a Resolução n.º 9/2003 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária que impõem a verificação periódica das condições de limpeza, manutenção, operação e controle, ainda, para sistemas com capacidade acima de 5 TR (60.000 BTU/H) deve-se manter um técnico habilitado para realizar e manter o Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC). Porém, os limites estabelecidos permitem aos profissionais da área avaliar os possíveis efeitos desses poluentes sobre a saúde e o bem-estar das pessoas.

O estudo do conforto ambiental, em suas diversas vertentes, já foi objeto de investigação de vários pesquisadores e continua sendo um dos elementos mais importantes a serem considerados no momento da concepção de projetos arquitetônicos e urbanos. Portanto, o conhecimento advindo dessas pesquisas deve embasar as ações dos planejadores do espaço, visando aos ambientes confortáveis. (Freitas & Azerêdo, 2013)

Batiz et al. (2009) explicam que o conforto térmico, cuja avaliação é um processo de caráter psicofisiológico, busca adaptar o ambiente para que este ofereça melhores condições de saúde, segurança, rendimento e bem-estar.

Diante do exposto sobre a avaliação do conforto térmico e modelo adaptativo atualmente pesquisado, o conforto a ser alcançado é o resultado de um equilíbrio entre muitas variáveis ambientais não estáticas e o conforto a ser alcançado será uma zona de conforto que atenda ao maior número de usuários destes espaços. (Oliveira et al., 2013)

### **2.3 Processos de aprendizagem**

A relação entre fatores ambientais internos de instalações educacionais e desempenho cognitivo não foi muito explorada. De uma forma geral, as pesquisas se limitam a correlacionar fatores ambientais internos com notas ou *performance* dos estudantes. No entanto, esta visão não se preocupa em explicar os processos mentais de aprendizagem, mas apenas em correlacionar o ambiente às notas.

Na visão de Cortez e Faria (2011), o processo de desenvolvimento e crescimento do indivíduo não ocorre de forma autônoma, aleatória ou determinada somente por fatores internos. Todo o processo de desenvolvimento tem a característica de ser global, integrado e interdependente.

Assim, todos aprendem sem se preocupar verdadeiramente com a natureza desse processo e todos ensinam sem buscar um suporte técnico explicativo do processo de ensino aprendizagem. (Vasconcelos, Praia & Almeida, 2003)

Nesse contexto, Ferraz e Belhot (2010) explicam que, na educação, decidir e definir os objetivos de aprendizagem significa estruturar, de forma consciente, o processo educacional, de modo a oportunizar mudanças de pensamentos, ações e condutas.

Por isso, Vasconcelos et al. (2003) demonstram que existe uma preocupação sempre presente da investigação na área da Psicologia Educacional, é a da compreensão do processo de aprendizagem do aluno, nomeadamente em contexto formal de ensino.

De acordo com Peres, Vieira, Altafim, Mello e Suen (2014), a todo minuto, nos múltiplos cenários pedagógicos, o professor precisa tomar posse de fundamentos a respeito do indivíduo que aprende, como esse aprendizado se origina, como se desenvolve e se transforma em experiência significativa de aprendizagem. Os docentes incorporam,

geralmente de forma inconsciente, práticas de ensino que estão esvaziadas de uma fundamentação teórica que os auxilie em suas tomadas de decisão.

Existem três teorias de aprendizagem que são parte da evolução do conceito. A teoria comportamental, a cognitiva e a construtivista, tal como apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 - Teorias do processo de aprendizagem.

Teorias	Características
<b>Comportamental</b>	Esta teoria ressalta as mudanças observáveis em comportamentos, habilidades e hábitos.
<b>Cognitiva</b>	As teorias cognitivas de aprendizagem ressaltam atividades mentais internas, tais como pensar, lembrar, criar e resolver problemas.
<b>Construtivistas</b>	As mais modernas estão interessadas em como indivíduos apreendem o significado de fatos e atividades; portanto a aprendizagem é vista como a construção do conhecimento.

Fonte: Adaptado de Hoy, Miskel e Tarter (2015)

Nos itens a seguir, serão debatidas a Taxonomia de Bloom, as teorias comportamentais e cognitivas do processo de aprendizagem, para que seja possível demonstrar a diferença entre as teorias e realizar um debate teórico entre a influência dos fatores ambientais internas de uma sala de aula e a teoria cognitiva da aprendizagem.

### 2.3.1 Aprendizagem cognitiva e Taxonomia de Bloom

Na visão de Bloom (1944, 1972), apud Ferraz e Belhot (2010), muitas pessoas reconhecem que a capacidade humana de aprendizagem difere de uma pessoa para a outra e, por um grande período, acreditou-se que a razão pela qual uma porcentagem de discentes obtinha desempenho melhor do que outros estava relacionada às situações e variáveis existentes fora do ambiente educacional e que, nas mesmas condições de aprendizagem, todos aprenderiam, com a mesma competência e profundidade, o conteúdo. Porém, Bloom (1944, 1972) explica que, nas mesmas condições de ensino, todos os alunos aprendiam, mas se diferenciavam em relação ao nível de profundidade do conhecimento adquirido. Esta teoria ficou conhecida como Taxonomia dos domínios cognitivos.

Para Antunes et al. (2006), entende-se por função cognitiva ou sistema funcional cognitivo as fases do processo de informação, tais como percepção, aprendizagem, memória, atenção, vigilância raciocínio e solução de problemas. Além disso, o

funcionamento psicomotor (tempo de reação, tempo de movimento, velocidade de desempenho) tem sido frequentemente incluído neste conceito.

Na visão de Júnior et al. (2014), as funções cognitivas compreendem um sistema de atividades mentais integradas e interdependentes. Entre elas: memória, pensamento lógico, capacidade de aprendizagem, atenção, linguagem, gnóscias, praxias, funções executivas. Soares (2007) define que a soma da família, escola e sociedade, influencia a aprendizagem, que é o desempenho cognitivo medido de acordo com as notas dos estudantes.

De acordo com Ferraz e Belhot (2010), existem três tipos de domínio específico de desenvolvimento conhecidos: cognitivo, afetivo e psicomotor. Embora todos os três domínios tenham sido amplamente discutidos e divulgados, em momentos diferentes e por pesquisadores diferentes, o domínio cognitivo é o mais conhecido e utilizado. Muitos educadores se apoiam nos pressupostos teóricos desse domínio para definirem, em seus planejamentos educacionais, objetivos, estratégias e sistemas de avaliação.

Ferraz e Belhot (2010) demonstram que os processos categorizados pela taxonomia dos objetivos cognitivos de Bloom, além de representarem resultados de aprendizagem esperados, são cumulativos, o que caracteriza uma relação de dependência entre os níveis e são organizados em termos de complexidade dos processos mentais. Assim, a definição das etapas do processo de aprendizagem é apresentada no Quadro 5

Quadro 5 - Estrutura do processo cognitivo na taxonomia de Bloom - revisada.

Etapa		Característica
1	Lembrar	Relacionado a reconhecer e reproduzir ideias e conteúdos. Reconhecer requer distinguir e selecionar uma determinada informação e reproduzir ou recordar está mais relacionado à busca por uma informação relevante memorizada. É representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Reconhecendo e Reproduzindo
2	Entender	Relacionado a estabelecer uma conexão entre o novo e o conhecimento previamente adquirido. A informação é entendida quando o aprendiz consegue reproduzi-la com suas “próprias palavras”. É representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Interpretando, Exemplificando, Classificando, Resumindo, Inferindo, Comparando e Explicando
3	Aplicar	Relacionado a executar ou usar um procedimento numa situação específica e pode também abordar a aplicação de um conhecimento numa situação nova. É representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Executando e Implementando
4	Analisar	Relacionado a dividir a informação em partes relevantes e irrelevantes, importantes e menos importantes e entender a inter-relação existente entre



		as partes. É representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Diferenciando, Organizando, Atribuindo e Concluindo
5	Avaliar	Relacionado a realizar julgamentos baseados em critérios e padrões qualitativos e quantitativos ou de eficiência e eficácia. É representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Checando e Criticando.
6	Criar	Significa colocar elementos junto com o objetivo de criar uma nova visão, uma nova solução, estrutura ou modelo, utilizando conhecimentos e habilidades previamente adquiridos. Envolve o desenvolvimento de ideias novas e originais, produtos e métodos por meio da percepção da interdisciplinaridade e da interdependência de conceitos. É representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Generalizando, Planejando e Produzindo.

Fonte: Ferraz e Belhot (2010)

Fundamental, também, diferenciar aprendizagem de memória. Para Estrela e Ribeiro (2012), memória refere-se à capacidade que os animais têm de armazenar informações que são adquiridas a todo instante, provenientes do meio interno e externo e, que podem ser lembradas e utilizadas posteriormente. Já, na visão de Lent (2005), a diferença entre a memória e a aprendizagem ocorre porque a aprendizagem é apenas o processo de aquisição das informações e a memória engloba isto mais a retenção e recordação. Logo, ambas estão completamente interligadas.

Por fim, cumpre mencionar que o termo “aprendizagem” não será utilizado neste trabalho, pois não possui consenso na literatura, logo a hipótese a ser influenciada pelos fatores ambientais internos é o desempenho cognitivo, na visão da teoria cognitiva.

### 2.3.2 Teoria comportamental na aprendizagem

A respeito deste tema, Hoy et al. (2015) explicam que a abordagem comportamental moderna, também conhecida como “*behaviorismo*” surgiu dos estudos de Skinner (1972) e seus seguidores, que enfatizaram a importância dos antecedentes e das consequências na mudança do comportamento. Portanto, sob a perspectiva desta teoria, a aprendizagem é definida como uma mudança de comportamento provocada pela experiência, sem praticamente nenhuma preocupação com os processos mentais ou internos do pensamento.

No mesmo entendimento, destaca-se Vasconcelos et al (2003), pois, para o pesquisador, as teorias “*behavioristas*” da aprendizagem escolar têm como objetivo principal alcançar comportamentos apropriados por parte dos alunos, basicamente entendidos como apropriação e modificação de respostas. Assim, se a resposta emitida for desejada haverá reforço.

A teoria comportamental, na visão de Peres et al (2014), apregoa que a aprendizagem ocorre por meio de estímulos e respostas, ou seja, agentes ambientais que modelam o comportamento do indivíduo e o encaminham para uma resposta almejada por meio de aproximações sucessivas. A teoria define que a motivação para aprender podia ser trabalhada via sanções e emulação. As sanções por parte dos professores envolvem tanto punições quanto recompensas.

Explorando o tema, Filho, Ponce e Almeida (2009) revelam que a Teoria “*Skinneriana*” apresenta dimensões físicas e sociais (internas e externas). Assim, o ambiente afeta um organismo depois, bem como antes, de esse organismo responder e, além disso, ao estímulo e à resposta sempre se acrescentam a consequência. Isso quer dizer que uma resposta comportamental reforçada numa determinada ocasião tem maior probabilidade de ocorrer numa outra ocasião similar. Portanto, pode-se afirmar que o homem age no mundo em decorrência das consequências positivas ou negativas de seu comportamento.

Existem, portanto, antecedentes, comportamento e consequências. Essa relação é demonstrada simplesmente como: Antecedente – “*Behavior*” (Comportamento) – Consequência.

Este ciclo é explicado por Hoy et al. (2015): na medida em que acontece o comportamento, determinada consequência o transforma em um antecedente para a próxima sequência ABC. O comportamento, em seguida, é alterado por mudanças nos antecedentes, nas consequências ou em ambos. Filho et al (2009) complementam explicando que existem reforços positivos e negativos no ambiente que possibilitam modificações no comportamento dos indivíduos. O reforço positivo fortalece o comportamento que o precede; e o reforço negativo fortalece a resposta de remoção do comportamento que o precede, por isso ambos são denominados reforçadores. Para Hoy et al. (2015), o “negativo” em reforço negativo não significa necessariamente que o comportamento reforçado é ruim, mas, em vez disso, implica que algo está sendo subtraído da situação que reforça o comportamento. Além do reforço existe a punição, que visa o enfraquecimento ou a extinção de comportamentos. De acordo com Hoy et al. (2015) existem dois tipos de punição: a punição direta e a punição por remoção.

A punição direta ocorre quando do surgimento do estímulo pós-comportamento suprime ou enfraquece o comportamento; uma coisa é adicionada para suprimir o

comportamento. A punição por remoção ocorre quando um estímulo é removido para punir; uma coisa é excluída com o intuito de diminuir ou enfraquecer o comportamento. A explicação da teoria comportamental pode ser observada na Figura 5.

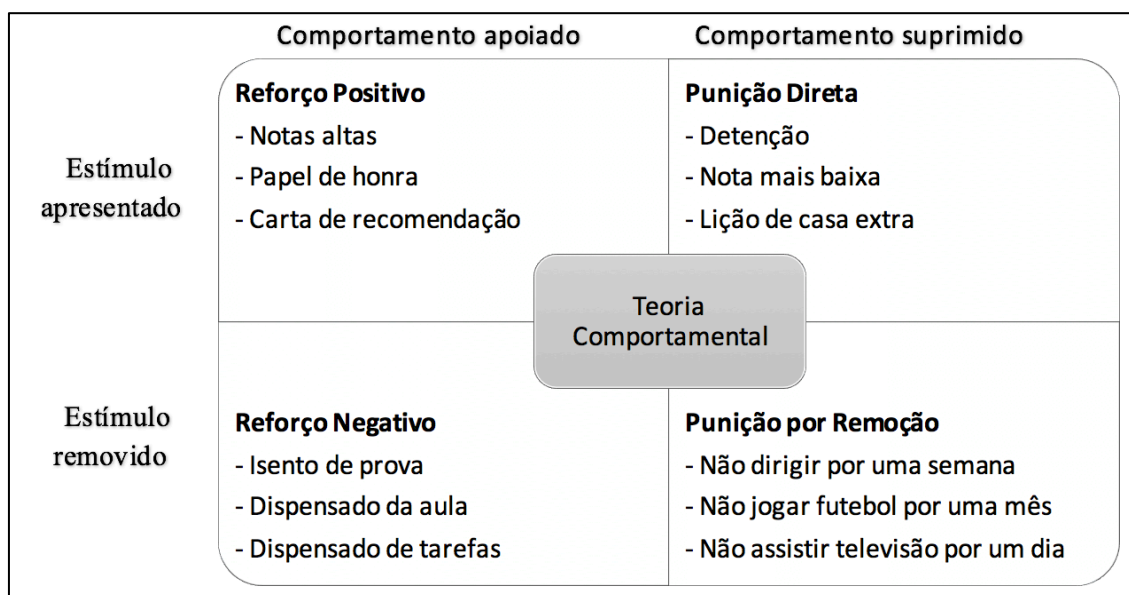


Figura 5- Esquema da Teoria Comportamental.

Fonte: Adaptado de Hoy et al. (2015)

Analisando a Figura 5, da mesma forma que se reforçam positivamente os comportamentos desejáveis e negativamente os indesejáveis, pode-se também extinguir comportamentos. E isso ocorre justamente pela ausência de qualquer tipo de reforço quando da emissão de uma resposta comportamental inadequada ou não recomendada em determinado ambiente, a ausência de reforço faz desaparecer a resposta. Para Barros (1998, apud Prass, 2012), os mecanismos de condicionamento operante são classificados de acordo com o Quadro 6:

Quadro 6- Mecanismos de condicionamento operante.

<b>Reforço positivo ou recompensa</b>	<b>As respostas que são recompensadas têm alta probabilidade de repetirem-se.</b>
<b>Reforço negativo</b>	Respostas que reflitam atitudes de escape a dor ou a situações indesejáveis têm alta probabilidade de repetir-se.
<b>Extinção ou ausência de reforço</b>	Respostas que não são reforçadas são pouco prováveis que se repitam (ignorando as condutas erradas dos estudantes, a conduta esperada deve extinguir-se).
<b>Punição ou Castigo</b>	Respostas que são punidas podem gerar consequências não desejáveis (uma punição tardia a um estudante poderia não ter efeito algum).

A respeito do Quadro 6, é importante mencionar que os reforços, tanto positivos quanto negativos, e não as punições, na visão de Filho et al (2009), são estratégias educativas recomendadas pelos adeptos da teoria comportamental.

Existem críticas referentes a teoria comportamental. Vasconcelos et al (2003) defendem que, sob este aspecto, o aluno é passivo, acrítico e mero reprodutor de informação e tarefas, não desenvolvendo sua criatividade e não gerando curiosidade e motivação. Menciona, ainda, que o aluno pode tornar-se apático, pois depende excessivamente do professor. Conclui que não há preocupação em ensinar a pensar, pois o ensino realça o saber fazer ou a aquisição e manutenção de respostas.

Filho et al (2009) explicam que o “*behaviorismo*” radical pode oferecer possibilidades educativas importantes, desde que aplicado de forma consciente e voltado à construção de comportamento que amplia as capacidades dos estudantes, de forma a garantir espaços de ação para os sujeitos e, não, de submetê-los passivamente às contingências do ambiente.

Sob outro ponto de vista, Prass (2012) crítica que as maiores objeções ao sistema de Skinner (1972) estão no fato de ele centrar-se exclusivamente no efeito de uma dada tarefa de aprendizagem, ignorando o processo cognitivo interno que ocorreu no aprendiz.

### **2.3.3 Teoria cognitiva na aprendizagem**

Acerca desta temática, Tavares (2005) define que cognição é um termo amplo, que se refere ao conteúdo dos pensamentos e aos processos envolvidos no ato de pensar. Assim, segundo o Autor, são aspectos da cognição as maneiras de perceber e processar as informações, os mecanismos e conteúdos de memórias e lembranças, estratégias e atitudes na resolução de problemas.

Hoy et al. (2015) explicam que as abordagens cognitivas sugerem que um dos elementos mais importantes no processo de aprendizagem é o que o indivíduo traz para a situação de aprendizagem, ou seja, aquilo que o indivíduo sabe determinar em grande parte aquilo em que ele presta atenção, percebe, aprende, lembra e esquece. O conhecimento é, ao mesmo tempo, meio e fim; mais do que o produto da aprendizagem anterior, também orienta novas aprendizagens.

Na visão de Diaz (2011), essa teoria parte do conceito “cognitivo”, a saber, representação mental que utiliza em sua base os processos cognitivos (pensamento, linguagem, memória, percepções, atenção etc.).

A teoria cognitiva reconhece diferentes tipos de conhecimento – geral e de domínio específico, de acordo com o Quadro 7.

Quadro 7 - Tipos de conhecimento.

Tipos de Conhecimento	Definição
<b>Conhecimentos gerais</b>	Aplicam-se a várias situações. Por exemplo os conhecimentos gerais sobre como ler ou usar um computador é útil em muitas situações.
<b>Conhecimentos de domínio específico</b>	Referem-se a uma determinada tarefa ou assunto. Por exemplo, saber que existem 2 tempos em um jogo de futebol é algo específico ao domínio do futebol.

Fonte: Adaptado de Hoy et al. (2015)

Hoy et al. (2015) explicam que também existem outras divisões do conhecimento, declarativo, processual ou autorregulatório, tal como se observa por meio do Quadro 8.

Quadro 8 - Divisões dos tipos de conhecimento.

Tipos de Conhecimento	Definição
<b>Conhecimento declarativo</b>	O conhecimento que pode ser declarado, geralmente em palavras, por meio de palestras, livros, escrita, troca verbal, Braille, linguagem de sinais, notação matemática e assim por diante.
<b>Conhecimento processual</b>	É saber como fazer algo como dividir frações ou consertar um condicionador de ar – fazer a tarefa demonstra conhecimento processual.
<b>Conhecimento autorregulatório</b>	É saber quando e porque aplicar os conhecimentos declarativos e processuais.

Fonte: Adaptado de Hoy et al. (2015)

Para Hoy et al. (2015), o conhecimento autorregulatório equivale a dominar a gestão de sua própria aprendizagem – saber como e quando usar seus conhecimentos declarativos e processuais. É necessária autorregulação para saber quando ler cada palavra do texto e quando passar os olhos. Para muitos alunos, esse tipo do conhecimento é uma pedra no meio do caminho. Eles têm os fatos e sabem desenvolver os procedimentos, mas tropeçam em como aplicar o que sabem no momento adequado.

Na visão Diaz (2011), a teoria baseada no processamento artificial da informação explica a aprendizagem humana com mecanismos similares aos utilizados pelo

computador para processar a informação recebida. Hoy et al (2015) demonstram este processo em um ciclo, apresentado na Figura 6.

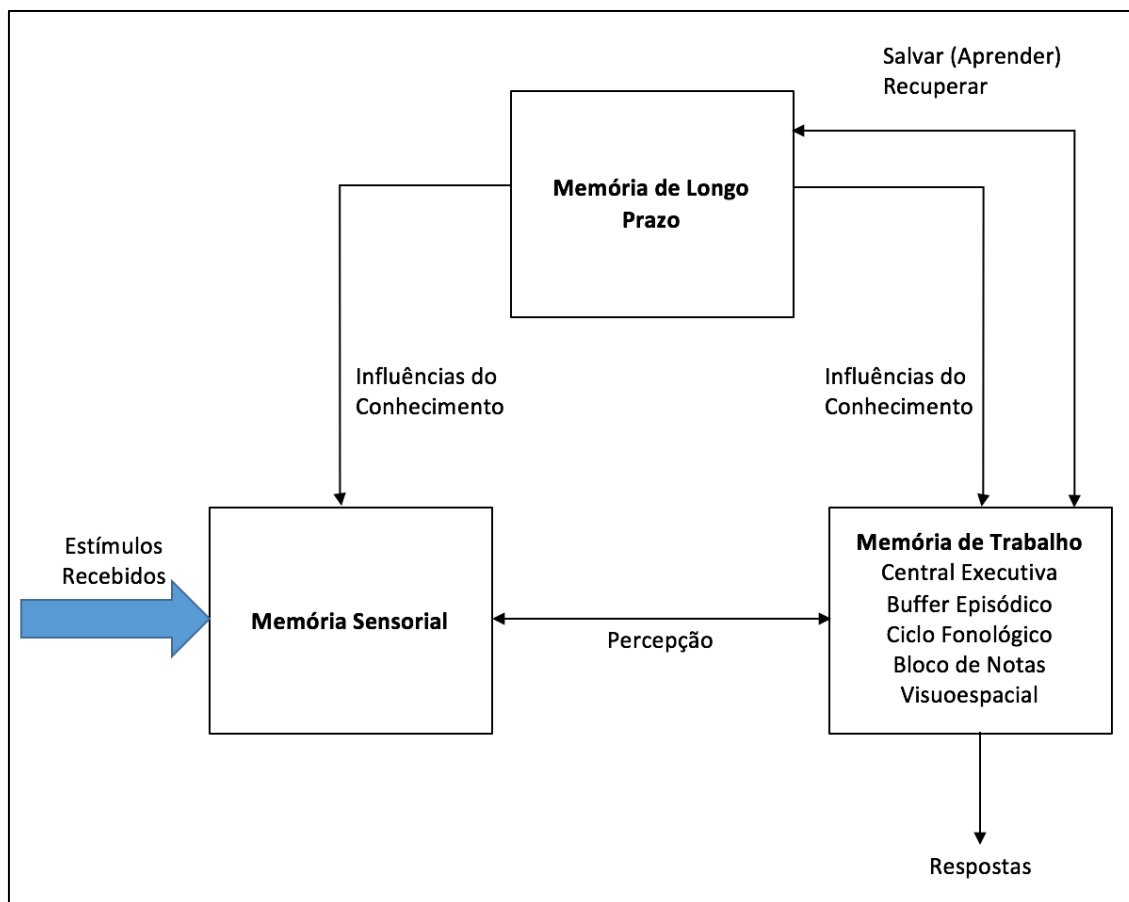


Figura 6 - Versão do Sistema de processamento de informações.

Fonte: Adaptado de Hoy *et al.* (2015)

A entrada da informação está constituída pelos sistemas receptores de tipo sensorial, os chamados órgãos dos sentidos externos (os cinco sentidos) e internos (relacionados com as vísceras e glândulas) ou do tipo motor (no nível de articulações osteomusculares), que recepcionam o estímulo não-nervoso, codificando-o para transformá-lo no impulso nervoso correspondente. Na parte central do sistema, tal informação é processada: primeiramente é analisada, logo se descompõe em subinformações (Qual é sua natureza? De onde precede? Como está composta?) para, posteriormente, ser correspondentemente sintetizada, isto é, reestruturada com base na experiência atual e na memória precedente, fato que permite buscar, descobrir e selecionar o “*stock*” mental de respostas as vias para solucionar o conflito de aprendizagem. (Diaz, 2011)

A resposta do ciclo é o resultado em forma de lembrança, percepção, movimento, raciocínio, imagem, ideia, ou seja, será executada a resposta mentalmente processada e, a partir daí, se estabelece o mecanismo complementar conhecido como “*feedback*” – ou retroalimentação, cujo objetivo, também adaptativo, é verificar se a resposta dada resolve a situação para a qual foi utilizada e, principalmente, se está colocada nas proporções certas ao estímulo desencadeante. (Diaz, 2011)

Portanto, a memória sensorial é influenciada pelos estímulos recebidos, como temperatura, umidade do ar, velocidade do ar, nível de CO<sub>2</sub>. Assim, teoricamente, o ambiente interno possui influência sobre a aprendizagem. A premissa é de que ambientes internos ótimos proporcionarão uma curva de aprendizagem maior para estudantes. Logo, em um ambiente favorável, a memória de trabalho operará em condições ideais, melhorando o processo de conversão de memória de curto prazo para memórias de longo prazo, influenciando no conhecimento do estudante.

#### **2.4 Relação entre ambiente interno de ambientes educacionais e aprendizagem cognitiva**

A qualidade ambiental interna de ambientes educacionais possui influência significativa no desempenho acadêmico de estudantes de todos os níveis. Este fato pôde ser constatado na pesquisa de Haverinen-Shaughnessy et al. (2015). Notou-se que baixas taxas de ventilação ocasionaram altas concentrações de poluentes (microrganismos, partículas e compostos orgânicos voláteis, etc.) nas salas de aula estudadas, além de diminuição do índice de qualidade interna do ar interno, prejuízos a saúde e absenteísmo de alunos.

Os autores também estudaram o desempenho acadêmico dos estudantes quando expostos a determinada qualidade do ar. A pesquisa utilizou dados de ventilação de salas de aula de cem escolas localizadas em dois distritos do sudoeste dos Estados Unidos da América. O objetivo do estudo foi estudar a associação entre ventilação e desempenho acadêmico nos alunos do 5º ano. Nesta pesquisa, o aquecimento, ventilação e sistemas de ar condicionado foram ligados apenas no modo “fan” (modo “ventilação”). A medição máxima interna de CO<sub>2</sub> em cada escola variou de 661ppm até 6000ppm (média 1779, desvio-padrão 852), enquanto a concentração externa variou de 328ppm até 442ppm (média 375, desvio-padrão 29). As taxas de geração obtidas de CO<sub>2</sub> foram de 0,0043l/s, para alunos, e 0,0052l/s, para professores. Os alunos do 5º ano fizeram testes

padronizados, permitindo parametrizar o aprendizado. A pesquisa obteve, para ambientes com ventilação abaixo de 7,1 litros/s, uma correlação entre ventilação e desempenho acadêmico, ou seja, para cada acréscimo de 1 litro/s/pessoa, a proporção de aprovação de alunos em testes de matemática aumentou em 2,9%; e a aprovação em testes de leitura aumentaram em 2,7%. Contudo, esta correlação entre ventilação e desempenho acadêmico pôde não seguir a mesma direção, em condições em que a ventilação das salas ultrapassava o valor de 7,1 litros/s. Dessa forma, Haverinen-Shaughnessy et al. (2015) constataram que, aumentando-se a ventilação, se chegava a um ponto no qual o desempenho acadêmico sofria uma redução. Tal como ocorre em ambientes, muito quentes ou muito úmidos, ou ambientes poluídos, os autores identificaram que a ventilação excessiva, sem filtração de ar, também pode piorar o desempenho de estudantes.

A correlação entre condições ambientais internas e aprendizagem cognitiva de estudantes em geral também pode ser observada na pesquisa de **Wargocki, Matysiak e Irgens (2005)??? (Essa citação não consta nas referências. Favor verificar se deve ser mantida ou não. Caso seja mantida, favor inserir nas referências)**. Os pesquisadores conduziram um trabalho em salas de aula compostas por crianças de 10 anos de idade e mediram o impacto do aumento da ventilação na *performance* escolar dos estudantes. Em certas aulas, em cada semana, os professores aplicavam testes que variavam desde matemática até leitura. Os autores observaram que, com um incremento da taxa de ventilação de 5 para 10 litros/s, a *performance* escolar dos alunos investigados apresentou um aumento de cerca de 15% nos testes realizados.

Em relação à ventilação, torna-se importante apresentar o seu conceito. A ventilação dos ambientes tem como uma das funções a manutenção da qualidade do ar, com a renovação dele no ambiente – chamada de ventilação higiênica –, independente de condições climáticas, localizada preferencialmente acima da zona de ocupação dos usuários. Ainda deve permitir a eliminação do excesso de umidade decorrente do vapor d'água eliminado pela respiração ou presente na atmosfera em razão das variáveis climáticas. Além disso, deve propiciar a ventilação de conforto, auxiliando nas trocas térmicas entre os usuários e o ambiente, pelo resfriamento evaporativo da pele por meio da sudorese, especialmente em climas quente-úmidos e na estação quente de climas compostos úmidos. Por fim, possibilitar o resfriamento por convecção das superfícies interiores. (Fransola, 2001)



Estudo conduzido por Toftum et al. (2015) objetivou estudar associações entre os modos de ventilação com parâmetros diversos relacionados à sala de aula (volume da sala, construção/renovação anual, ocupação, frequência de abertura de janelas e orientação da janela) com a aprendizagem dos alunos, medida pelo teste nacional dinamarquês. Os dados foram coletados a partir de 820 salas de aula de 329 escolas dinamarquesas no ano de 2009. Os resultados da pesquisa comprovaram que alunos que estudavam em escolas que apenas possuíam ventilação natural e abertura manual de janelas, obtiveram notas mais baixas no teste nacional em comparação a alunos que estudavam em escolas que possuíam sistemas de ventilação mecanizada. Os autores concluíram que isto se deve ao fato de que as salas com ventilação natural apresentavam concentração maior de CO<sub>2</sub>, em razão da baixa taxa de ventilação e renovação do ar, do que àquelas dotadas de ventilação mecanizada.

Contudo, apesar de diversos estudos indicarem relação entre níveis de concentração de CO<sub>2</sub> em salas de aula e desempenho de acadêmico de estudantes, também podem ser citados alguns trabalhos que demonstraram não existir esta correlação. Jurado et al (2014) compararam 30 (trinta) salas de aula, em 5 universidades diferentes no Estado de Mato Grosso do Sul; 15, com sistemas de ar-condicionado e 15, com ventilação natural, com um total de 802 participantes. O estudo concluiu que os alunos que estudavam em salas com sistemas de ar-condicionado obtiveram melhor desempenho acadêmico e menores taxas de absentismo. No entanto, não foi observada nenhuma associação entre níveis de CO<sub>2</sub> e desempenho acadêmico pelos autores. Contudo, as elevadas temperaturas internas das salas de aula foram associadas negativamente ao desempenho acadêmico dos estudantes. Os altos níveis de CO<sub>2</sub> foram associados aos sintomas gerais e específicos da síndrome do prédio doente (*sick building*), tais como dor de cabeça, fadiga, irritação nos olhos, nariz e garganta.

Jurado et al (2014) comentam que, para manter metabolismo em funcionamento, o organismo consome oxigênio e produz dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e vapor de água, eliminados pela respiração. As taxas de oxigênio consumido e de CO<sub>2</sub> produzido dependem da taxa de respiração correspondente ao nível de atividade física, portanto do metabolismo dos indivíduos. Ressalta-se que o calor liberado pelas pessoas, de acordo com a ABNT 16401, Quadro 9, para universidades pode ser considerado como 115W.

Quadro 9 - Taxas típicas de calor liberado por pessoas (W)

Nível de atividade	Local	Calor Total (W)	
		Homem adulto	Ajustado M/F <sup>1</sup>
Sentado no teatro	Teatro matinê	115	95
Sentado no teatro, noite	Teatro noite	115	105
Sentado, trabalho leve	Escr., hotéis, apartamentos	130	115
Atividade moderada em trabalhos de escritório	Escr., hotéis, apartamentos	140	130
Parado em pé, trabalho moderado; caminhando	Loja de varejo ou de departamentos	160	130
Caminhando, parado em pé	Farmácia, agência bancária	160	145
Trabalho sedentário	Restaurante	145	160
Trabalho leve em bancada	Fábrica	235	220
Dançando moderadamente	Salão de baile	265	250
Caminhando 4,8 Km/h; trabalho leve em máquina operatriz	Fábrica	295	295
Jogando boliche	Boliche	440	425
Trabalho pesado	Fábrica	440	425
Trabalho pesado em máquina operatriz; carregando carga	Fábrica	470	470
Praticando esportes	Ginásio, academia	585	525

Fonte: NBR 16401-1 – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projetos das instalações.

<sup>1</sup> O valor do calor ajustado é baseado numa porcentagem normal de homens, mulheres e crianças para cada uma das aplicações listadas, postulando-se que o calor liberado por uma mulher adulta é, aproximadamente, 85% daquele liberado por um homem adulto, e o calor liberado por uma criança é, aproximadamente, 75% daquele liberado por um homem adulto.

### **3. METODOLOGIA DE PESQUISA**

#### **3.1 Caracterização do tipo de pesquisa**

Esta pesquisa pode ser caracterizada, conforme Martins e Theóphilo (2009), como uma pesquisa experimental. Segundo os autores, a pesquisa experimental é aquela que busca a construção de conhecimento por meio de uma rigorosa verificação e garantia de resultados cientificamente comprovados – conhecimentos passíveis de apreensão em condições de controle, legitimados pela experimentação e comprovados pelos níveis de significância das mensurações.

O método experimental consiste essencialmente em submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto. Para Gil (2008), não constitui exagero afirmar que boa parte dos conhecimentos obtidos nos últimos três séculos se deve ao emprego do método experimental, que pode ser considerado como método por excelência das ciências naturais.

Os experimentos são os estudos que melhor se adaptam ao propósito de identificação de relações causais entre variáveis. Um traço que distingue o experimento dos demais tipos de estratégias e concorre para a consecução do intento de análise causal, é que os experimentadores podem controlar as variáveis cujos efeitos desejam estudar, ou podem controlar quem é exposto a elas. As variáveis estranhas ao experimento também podem ser controladas, o que pode ser conseguido mantendo-as constantes. Esse procedimento, comumente aplicado nas ciências naturais, contribui, de forma importante, para o propósito de identificação da relação de causa e efeito entre as variáveis selecionadas para análise. (Martins & Theóphilo, 2009)

Trata-se de uma metodologia de pesquisa em que uma ou algumas variáveis são manipuladas (variáveis independentes – nível de CO<sub>2</sub>, temperatura, ventilação, etc) –

possíveis causas – e observados possíveis efeitos sobre uma variável (dependente – desempenho cognitivo dos alunos). Nesta, o pesquisador interfere na realidade, fato ou situação estudada por meio da manipulação direta de variáveis. A condução de um estudo experimental é orientada por um delineamento do experimento (*design*), isto é, um plano sobre a estrutura e desenvolvimento da investigação. (Martins & Theóphilo, 2009)

Ribas e Fonseca (2008) explicam que a pesquisa experimental procura responder “porque” um fenômeno ocorre. Segundo os autores, para se desenvolver uma pesquisa experimental é preciso realizar um experimento, que deverá ocorrer mediante uma das seguintes alternativas: em ambiente natural (pesquisa de campo) ou em laboratório (pesquisa de laboratório). A pesquisa de campo consiste na observação de fatos e fenômenos tal como ocorrem espontaneamente. A pesquisa de laboratório é um procedimento mais difícil, porém mais exato. Ela descreve e analisa o que será ou ocorrerá em situações controladas. Exige instrumental específico, preciso, e ambientes adequados.

Na pesquisa de laboratório, as experiências são efetuadas em recintos fechados (casas, laboratórios, salas) ou ao ar livre; em ambientes artificiais ou reais, de acordo com o campo da ciência que as está realizando. A pesquisa de laboratório pode ser feita com pessoas, animais, vegetais ou minerais. (Ribas & Fonseca, 2008)

Além de outros procedimentos, são características básicas de uma pesquisa experimental os elencados no Quadro 10.

Quadro 10 - Características da pesquisa experimental.

Características	Definição
<b>Grupo Experimental</b>	É aquele sobre o qual será efetuada a manipulação de variáveis (causas) e, posteriormente, medidos os efeitos. É também denominado grupo de teste.
<b>Distribuição (designação) aleatória ou Causalização</b>	É a designação aleatória (geralmente por meio de sorteios) dos sujeitos que irão compor os grupos de controle e de teste. A aleatoriedade assegura que a composição das características individuais dos grupos seja praticamente idêntica em todos os aspectos. A causalização dá garantias de que as fontes de “contaminação” sejam minimizadas, pois os membros dos dois grupos, aparentemente, terão as mesmas características, só diferenciando por possíveis reações devido à manipulação de alguma variável.
<b>Variável independente</b>	É a variável que será manipulada, ou seja, é aquela sobre a qual se produzirão estímulos.

<b>Variável dependente</b>	É a variável que será medida após a manipulação, ou seja, é aquela sobre a qual se observam as consequências da manipulação
----------------------------	---

Fonte: Adaptado de Martins & Theóphilo (2009)

Portanto, nessa dissertação, busca-se estudar a influência das condições ambientais internas em uma sala de aula sobre o desempenho cognitivo de estudantes de uma instituição de ensino.

Nesse sentido, a variável dependente é o desempenho cognitivo dos alunos investigados, enquanto as condições ambientais internas, que serão empregadas na sala de aula, compõem as variáveis independentes, como pode ser visto na Figura 7.

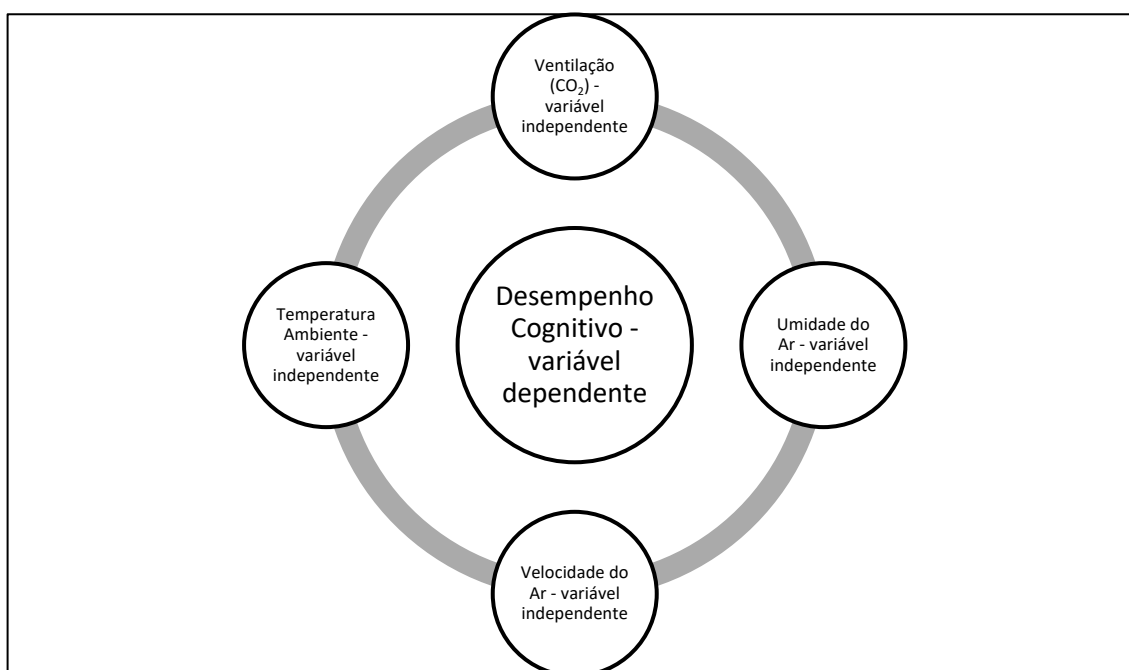


Figura 7- Variáveis independentes e dependentes.

Fonte: Dados da pesquisa

A seguir, nos itens subsequentes, serão demonstrados: a sala de aula a ser utilizada, a caracterização da amostra populacional, o método de coleta de dados, os cenários utilizados e os testes que serão utilizados para mensurar a *performance* cognitiva dos alunos investigados

### 3.2 Delineamento do objeto em estudo

Inicialmente, será mostrado um fluxograma completo da metodologia desta pesquisa, para que seja possível realizar a caracterização das etapas seguintes, conforme

a Figura 8. Tendo em vista que a pesquisa envolve o uso de pessoas, esta foi submetida a avaliação do Comitê de Ética de Pesquisa da Universidade Nove de Julho.

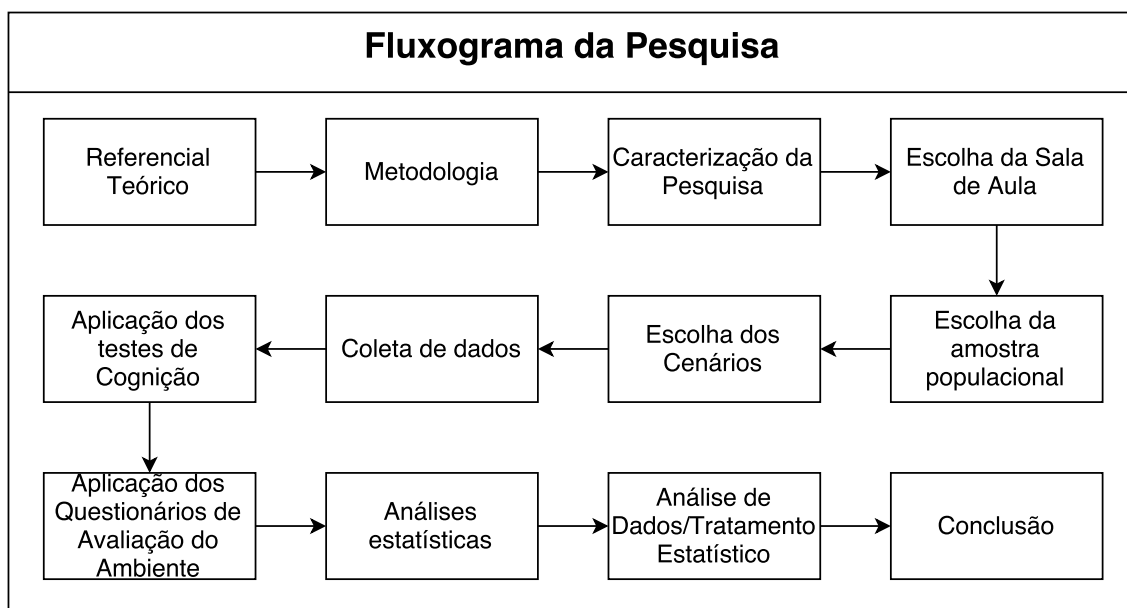


Figura 8- Fluxograma da pesquisa

Fonte: Dados da pesquisa

A seguir, a trajetória metodológica adotada para a realização da pesquisa é descrita detalhadamente.

### 3.2.1 Descrição da sala de aula utilizada

Para condução desta pesquisa, foi utilizada uma sala de aula localizada nas dependências de uma universidade situada na região central da cidade de São Paulo com 70 m<sup>2</sup> de área. O motivo de escolha desta sala consistiu no fato de que esta localiza-se no interior do andar, ou seja, não sofre qualquer tipo de interferência do meio ambiente externo (variação de temperatura, ruído, insolação, etc.), pois está distante das fachadas do edifício.

O sistema de circulação de ar e refrigeração da sala de aula consiste na utilização de um aparelho de ar condicionado e/ou ventiladores. Atualmente, nesta sala de aula, são alocados usualmente 47 alunos. As carteiras são compostas de madeira compensada e possui apoio para braço e caderno.

A Figura 9 apresenta a posição da sala de aula em estudo. A Figura 10 demonstra os aspectos internos da sala de aula.



Figura 9- Localização da sala de aula em estudo

Fonte: Dados da pesquisa

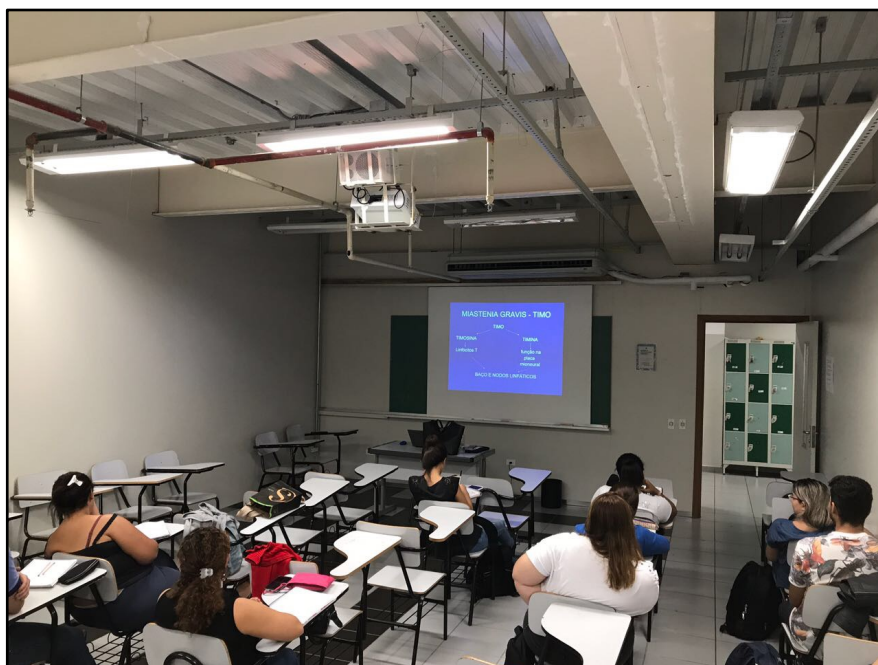


Figura 10- Vista interna da sala de aula em estudos

Fonte: Dados da pesquisa

### 3.2.2 Caracterização da população amostral

A população amostral foi composta por estudantes universitários voluntários, pertencentes a semestres letivos diferentes de cursos distintos. Este procedimento teve por objetivo evitar o falseamento dos parâmetros obtidos por meio dos testes cognitivos, que poderiam incorrer devido ao desenvolvimento de habilidades específicas que possam ser mais desenvolvidas em relação a um curso ou outro.

Tendo em vista que deve ser realizada uma distribuição aleatória dos sujeitos que irão compor os grupos, foram escolhidas turmas aleatórias para que não existisse nenhuma “contaminação” nas amostras.

Para a determinação da quantidade de alunos a ser alocada na sala de aula em estudo, foi utilizada a recomendação estabelecida no Código de Obras do Município de São Paulo, Lei Municipal n.º 11.228/92, a qual define o loteamento máximo de sala de aula em 1,5m²/pessoa. Assim, o número de alunos foi definido, a partir desta norma. Dessa forma, a quantidade de alunos foi determinada por meio da Equação 1.

$$N_{\text{alunos}} = \frac{\text{Área da sala de aula}}{1,5} \quad (1)$$

### 3.3 Procedimentos para coleta de dados

Os parâmetros utilizados para avaliação das condições ambientais internas da sala de aula estão apresentados no Quadro 11.



Quadro 11 - Parâmetros ambientais que foram medidos

Condições ambientais internas
<b>Concentração de CO<sub>2</sub></b>
<b>Temperatura de bulbo seco e úmido</b>
<b>Temperatura de globo</b>
<b>Velocidade do ar</b>
<b>Umidade do ar</b>

Fonte: Dados da pesquisa

Portanto, para que seja possível mensurar as variáveis independentes, foram utilizados os seguintes equipamentos descritos na Figura 11.



Equipamentos	Fotos
<p>Medidor de CO<sub>2</sub> com faixa de medição de 0 a 0,999 vol %; exatidão 0 a 5000ppm: + ou – (75ppm + 3% do vm), de 5001 a 9999ppm: + ou – (150ppm + 5% do vm)</p>	 <p>Aparelho medidor de CO<sub>2</sub>.</p>
<p>Termômetro de globo com cálculo de IBUTG. Exatidão + ou – 0,5°C;</p>	 <p>Termômetro de globo.</p>

Termoanemômetro com faixa de medição de 0 a 5m/s (-20 a 0°C) e 0 a 10m/s (0 a +50°C)



Termoanemômetro.

Figura 11- Aparelhos de medição.

Fonte: Dados da pesquisa

As medidas de temperatura, umidade relativa, CO<sub>2</sub> e fluxo de ar foram tomadas em diferentes locais da sala de aulas em estudo, com o intuito de melhor classificar a sala de aula e verificar a diferença das condições internas em diversos pontos da sala. Na Figura 12 são apresentados os pontos de coleta de dados.

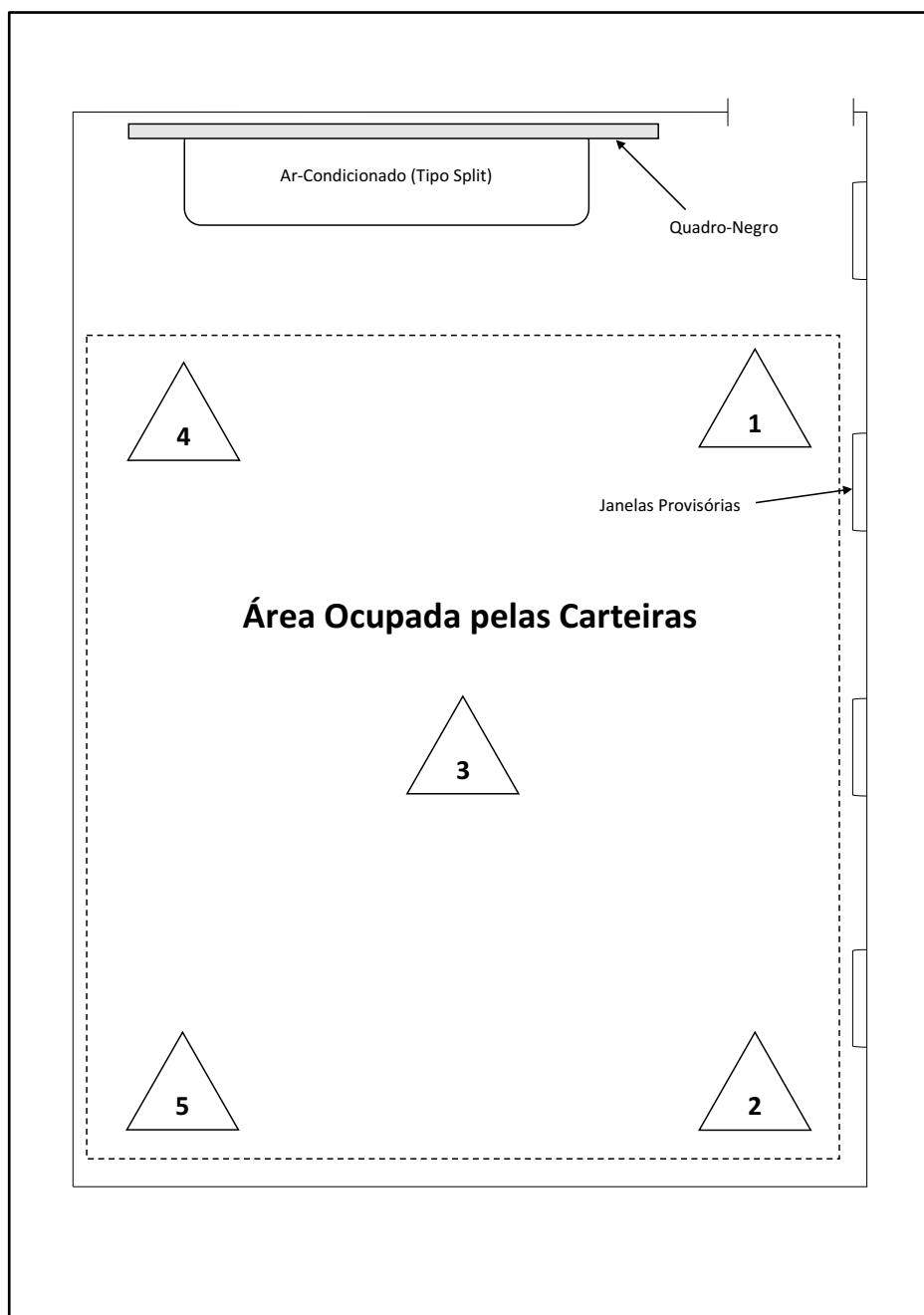


Figura 12- Localização dos pontos de medição das condições internas da sala de aula.

Fonte: Dados da pesquisa

Na sala de aula, foram abertas 4 (quatro) janelas para ventilação com 1m de largura de 0,8m de altura cada, como pode ser vista na Figura 13.



Figura 13- Janelas na sala de aula

Fonte: Dados da pesquisa

Após a determinação dos pontos de leitura dos instrumentos, os alunos foram alocados na sala de aula em locais pré-determinados e devidamente mapeados. Também foram anotados o tipo de vestimenta, altura e massa de cada aluno, sendo estas informações descritas no mapeamento da sala de aula.

Tendo em vista que a região ocupada de um espaço ventilado, de acordo com a NBR Abnt 16401-3/2008, é o espaço situado entre os planos horizontais localizados entre 0,8m e 1,8m do piso e distante de 0,6 m das paredes ou de componentes do sistema de tratamento de ar, as medições serão realizadas a uma altura a partir do nível do piso da sala de aula, equivalente a 0,6m para temperatura, velocidade do ar e umidade e 1,1m para CO<sub>2</sub>, tal como já efetuado na pesquisa desenvolvida por Parcure e Sarbu (2015).

Após a imposição de cada condição climática (cenário) a ser utilizada, foi esperado um tempo de 15 minutos para que os ocupantes da sala se adaptassem ambientalmente ao espaço, tal como realizado por Parcure e Sarbu (2015). As leituras foram efetuadas a cada 10 minutos, sendo realizadas durante um período total 61 minutos, a partir do período de adaptação dos estudantes.

### 3.4 Cenários utilizados

Ao se observar a variação do desempenho cognitivo dos alunos com as condições ambientais internas da sala em estudos e obter uma relação entre ambas, foram utilizados 3 (três) cenários pré-determinados que foram replicados com espaço de tempo de, aproximadamente, 1 semana entre si, conforme a Figura 14.

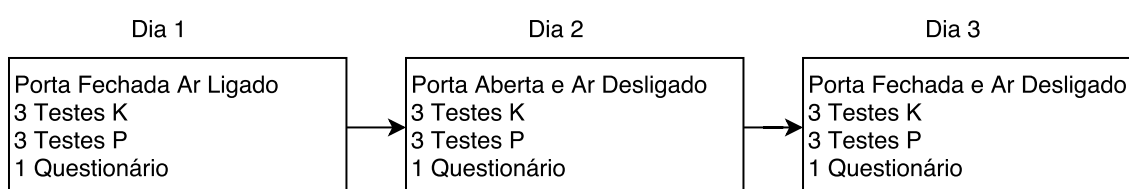


Figura 14- Cenários utilizados na pesquisa.

Fonte: Dados da pesquisa

Em cada um destes cenários, os alunos realizaram o teste de Kraepelin (teste K), o qual avalia a capacidade do indivíduo em relação ao raciocínio lógico e numérico e o teste de Prague (teste P), o qual avalia a memória do aluno em relação a imagens pré-estabelecidas. Mais detalhes acerca dos testes serão fornecidos no item 3.5.

### 3.5 Aplicação do teste de cognição

Para avaliação do desempenho cognitivo dos alunos, foram aplicados testes de Kraepelin e Prague. Segundo Parcure e Sarbu (2015), o teste de Kraepelin (teste K) consiste em um teste de cálculo numérico o qual requer bastante atividade mental para que uma certa quantidade de itens seja respondida corretamente em um curto período de tempo. O teste de Prague (teste P), segundo os autores, exercita a capacidade de atenção, observação e memória visual dos indivíduos. Para o teste K, o período para resolução deste teste foi de 10 minutos. Para o teste P, este período foi de 7 minutos, tal como recomendado por Parcure e Sarbu (2015).

Segundo os autores, as vantagens destes testes consistem no curto tempo necessário para aplicação destes, a possibilidade de estes serem avaliados tanto de forma qualitativa como quantitativa de maneira simultânea.

De acordo com Parcure e Sarbu (2015), o modo de resolução do teste K (Kraepelin) é: se o segundo número de cada par for menor que o primeiro, deverá ser colocado sinal (-) entre ambos. Caso o segundo número de cada par for superior ao primeiro, deverá ser colocado sinal (+) entre ambos, conforme Figura 15.

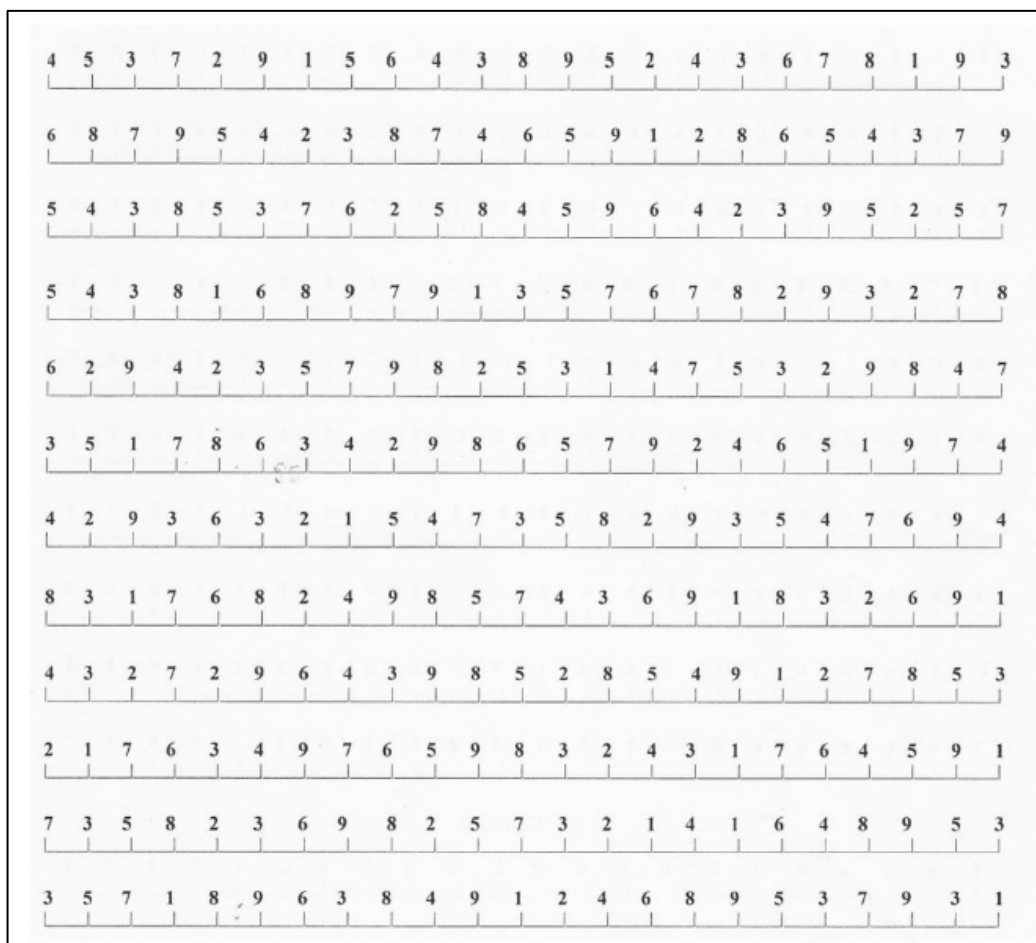


Figura 15- Teste de Kraepelin a ser aplicado.

Fonte: Parcure e Sarbu (2015)

Para o teste P (Prague), Parcure e Sarbu (2015) explicam que o modo de resolução é o seguinte: Na base da Figura 15 existem diversos modelos (A-G), os quais deverão ser comparados aos desenhos restantes. A ordem de leitura deverá ser da direita para a esquerda e de cima para baixo. Os desenhos iguais aos modelos A-G deverão ser riscados, aqueles diferentes deverão apenas ser pulados, conforme mostra a Figura 16.

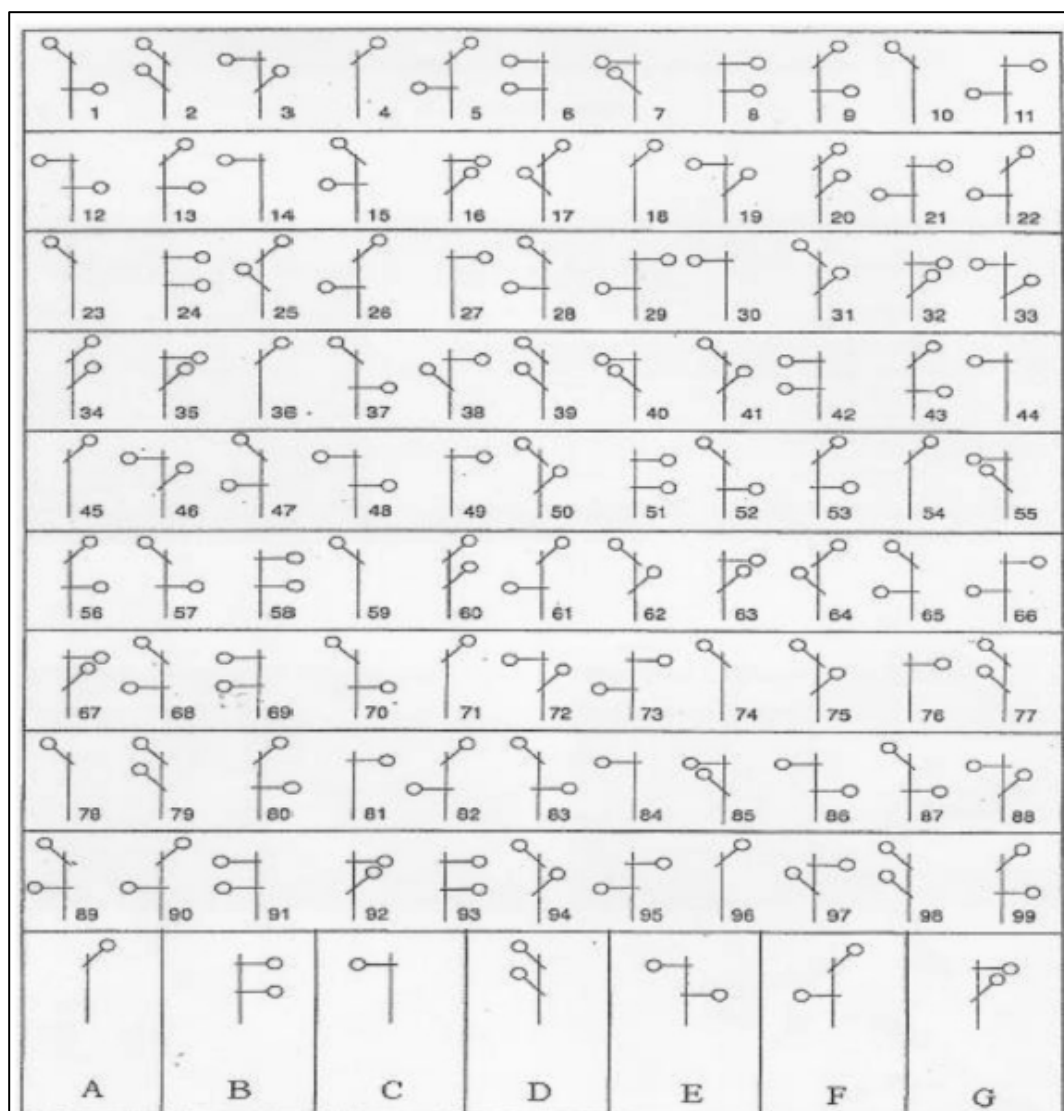


Figura 16- Teste P (Prague Test) a ser aplicado.

Fonte: Parcure e Sarbu (2015)

Para um dia de teste, a ordem de aplicação dos testes, assim como o tempo de ambientação, pode ser vista na Figura 17.

Ordem de aplicação dos testes					
Ambientação (15 minutos)	Teste K Teste P (17 minutos)	Pausa (5 minutos)	Teste K Teste P (17 minutos)	Pausa (5 minutos)	Teste K Teste P (17 minutos)

Figura 17- Ordem de aplicação dos testes e ambientação necessária.

Fonte: Dados da pesquisa

Dos testes de cognição, foram extraídos os números de acertos para tornar possível a análise estatística conjuntamente com o restante dos dados obtidos pela medição da sala de aula e dos questionários de avaliação do ambiente interno.

Foram realizadas correlações de Pearson e análises gráficas para verificar a influência das condições ambientais internas sobre o desempenho cognitivo e, também, para se analisar a influência dos cenários adotados sobre a sala de aula.

### 3.6 Questionários de avaliação do ambiente interno

Ao final da avaliação de cada cenário, foram aplicados questionários para avaliação da percepção dos indivíduos prospectados em relação a qualidade do ambiente da sala de aula. O questionário foi elaborado com base na Abnt NBR 16401-3/2008 – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 3: Qualidade do ar interior.

De acordo com a Norma, as informações obtidas por meio deste questionário ajudam na identificação e caracterização de eventuais problemas na qualidade do ar. O questionário foi aplicado para todos os alunos da sala de aula de forma anônima, ou seja, sem identificação dos respondentes. O modo de interpretar os dados se encontra na Figura 18.

<b>Orientação e interpretação das informações</b>
Qualquer resposta que não seja adequada da percepção é indicativa de qualidade do ar inadequada. Ar parado, viciado e pesado são indicativos de deficiência na renovação do ar.
Qualquer percepção da temperatura que não seja adequada indica deficiência no controle de temperatura do ar.
Qualquer percepção incômoda de corrente de ar é indicativa de má distribuição do ar.
Odores presentes todo tempo são provavelmente associados com a estrutura da edificação e com os móveis e revestimentos. Odores ocasionais podem ser devido à atividade intermitente dos ocupantes, funcionamento intermitente do sistema de climatização ou fatores externos. Frequentemente é necessária uma avaliação mais detalhada para se definir a causa.
O tabagismo permitido em ambientes interiores é frequentemente associado à piora da qualidade do ar.
Pessoas com alergias respiratórias (rinite ou asma) ou cutâneas (urticária, dermatite de contato) possuem limiares de percepção diferentes e podem ser afetadas por concentrações de poluentes que não incomodam aos outros. Nessas situações, é recomendável procurar aconselhamento de profissional de saúde.
Os tipos de sintomas possivelmente relacionados a problemas de qualidade do ar e o seu tempo de aparecimento são informações úteis na caracterização das situações problemáticas.
Informações adicionais, tais como a situação de aparecimento de eventuais queixas e relação com as condições climáticas e atividades específicas, podem ajudar a caracterizar as situações relacionadas com fatores de piora da qualidade do ar.



Figura 18- Interpretação dos dados obtidos pelo questionário.

Fonte: Abnt NBR 16401-3/2008

De acordo com a Abnt NBR 16401-3/2008, o percentual de satisfeitos com a qualidade do ar da sala de aula deve estar acima de 80%. Quaisquer dos sintomas descritos com piora local em mais de 20% da população, bem como os casos apontados por usuários, demandam uma avaliação dos ambientes para melhor diagnóstico. O questionário pode ser visto na Figura 19:

## A.2 Questionário

Nº \_\_\_\_\_

Descreva o local do prédio onde você passa a maior parte do tempo?

Localização: \_\_\_\_\_

Marque com um x nos quadros abaixo

1- Como você descreveria a qualidade do ar nesse local?

☐ adequado    ☐ parado    ☐ pesado    ☐ abafado (viciado)

2- Descrever a temperatura usual nesse local:

☐ adequada    ☐ muito quente    ☐ muito fria    ☐ algumas vezes muito quente, algumas vezes muito fria
3- Você fica freqüentemente incomodado (a) nesse local com correntes de ar? ☐ Sim ☐ Não4- Você se sente incomodado (a) com o cheiro/odor desse local? ☐ Sim ☐ Não

Se SIM, qual a freqüência que você sente esse cheiro?

☐ raramente    ☐ ocasionalmente    ☐ freqüentemente    ☐ todo o tempo

Qual dos tipos abaixo descreve esse(s) cheiro(s)?

☐ fumaça de carros    ☐ cigarro    ☐ cheiro de queimado    ☐ cheiro de sistemas de aquecimento (ar-condicionado)  
☐ tinta    ☐ mofo    ☐ produtos químicos    ☐ odores humanos (corporais)  
☐ algum solvente    ☐ cimento    ☐ cheiro de óleo    ☐ esgoto

Que você acha que causa este cheiro?

5- O tabagismo é permitido nesse local? ☐ Sim ☐ Não - Você fuma? ☐ Sim ☐ Não6- Você tem história de alergias? ☐ Sim ☐ NãoSe SIM, o tipo de alergia é: ☐ respiratória    ☐ pele    ☐ alimentos    ☐ ocular    ☐ outraOnde sua alergia piora ☐ casa    ☐ trabalho    ☐ rua    ☐ outros

7- Qual dos seguintes itens abaixo que você sofre e que você acha que pode estar relacionado a esse local?

☐ dor de cabeça    ☐ cansaço    ☐ fraqueza    ☐ dificuldade para respirar    ☐ náusea  
☐ secura nos olhos    ☐ espirros    ☐ lacrimejamento    ☐ problemas no estômago    ☐ tontura  
☐ visão embaçada    ☐ nariz entupido    ☐ coriza    ☐ dor de garganta    ☐ asma  
☐ garganta seca    ☐ coceira nos olhos    ☐ tosse    ☐ irritação na pele    ☐ outro

8- A que horas do dia você acredita que suas queixas pioram?

☐ manhã    ☐ tarde    ☐ é o mesmo durante todo o dia

Em que dia da semana suas queixas são piores?

☐ segunda-feira    ☐ meio da semana    ☐ sexta-feira    ☐ fim-de-semana    ☐ igual durante toda semana

Em que estação do ano suas queixas pioram?

☐ primavera    ☐ verão    ☐ outono    ☐ inverno    ☐ o mesmo durante todo o ano
Os sintomas que você sente coincidem com a hora de limpeza ou manutenção dessa área? ☐ Sim ☐ Não

Se SIM, descreva essa atividade:

---

---

---

---

---

---

---

---

Comentários:

---

---

---

---

---

---

---

---

Figura 19- Questionário de percepção da qualidade do ar interno.

Fonte: Abnt NBR 16401-3/2008

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos por meio dos procedimentos metodológicos conduzidos.

### 4.1 Caracterização da população amostral

A amostra estudada foi composta por 43 estudantes universitários de diversos cursos da Instituição, sendo todos voluntários. A amostra pode ser caracterizada predominantemente como sendo masculina (60,5%) com idade compreendida entre 20 a 25 anos (53,5%), conforme observado nas Figuras 20 e 21, respectivamente.

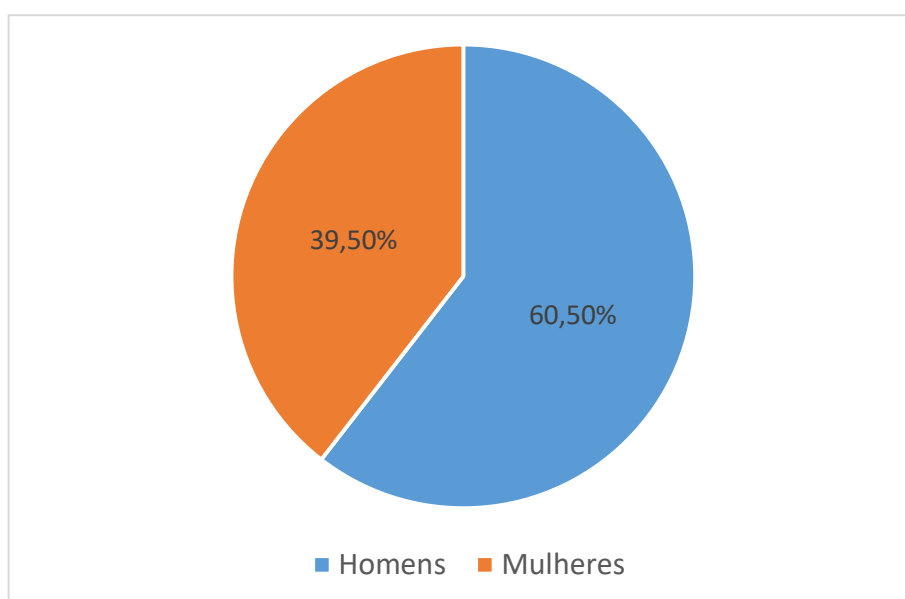


Figura 20- Proporção entre homens e mulheres participantes da amostra.

Fonte: Dados da pesquisa

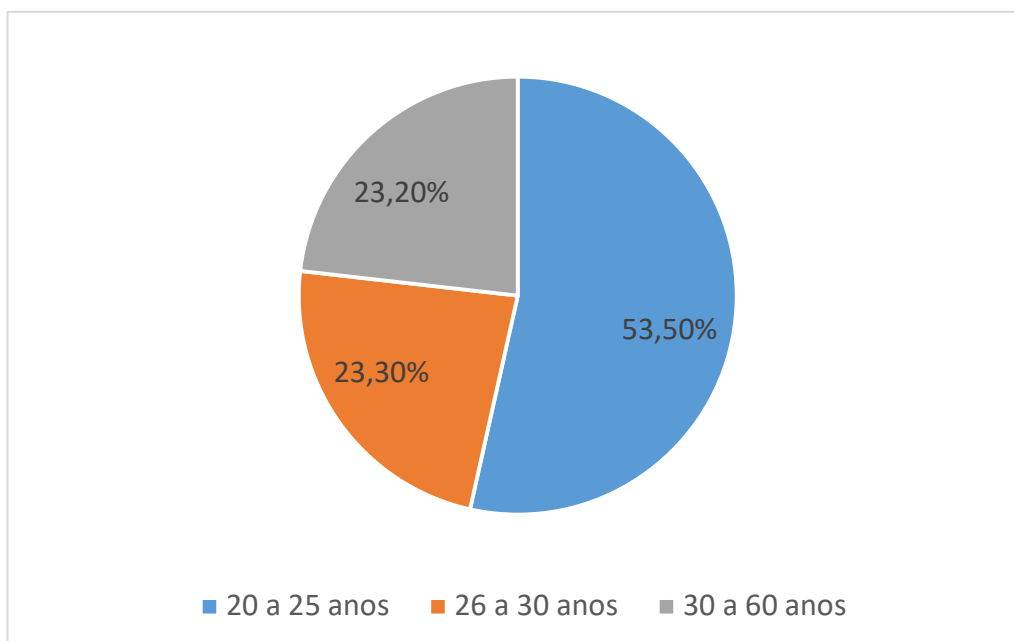


Figura 21- Faixas de idade observadas entre os alunos componentes da amostra.

Fonte: Dados da pesquisa

A média de peso dos indivíduos da amostra foi de 77,5 kg, com desvio-padrão de 15,32 kg e coeficiente de variação de 19,7% (valor mínimo de 49kg e máximo de 106kg). A média de altura atingiu valor de 175 cm com desvio-padrão de 9,66 cm e coeficiente de variação de 5% (valor mínimo de 155cm e máximo de 189cm).

A vestimenta que a população amostral utilizou durante os testes dependeu das condições climáticas do próprio dia. Dessa forma, foram criadas três categorias para vestimenta: leve, média e pesada. A vestimenta leve consistiu naquela composta por tecidos mais leves, tais como shorts, saia, camiseta de manga curta ou regata e calçado aberto. A categoria de vestimenta média correspondia aos trajes mais longos: calça leve até os pés, camisa e calçado fechado. A categoria de roupas pesadas era composta por: calça longa, calçado fechado e blusas de moletom e agasalhos em geral. Na Figura 22, é apresentada a distribuição da frequência de utilização de cada categoria de vestimenta por dia de estudo.

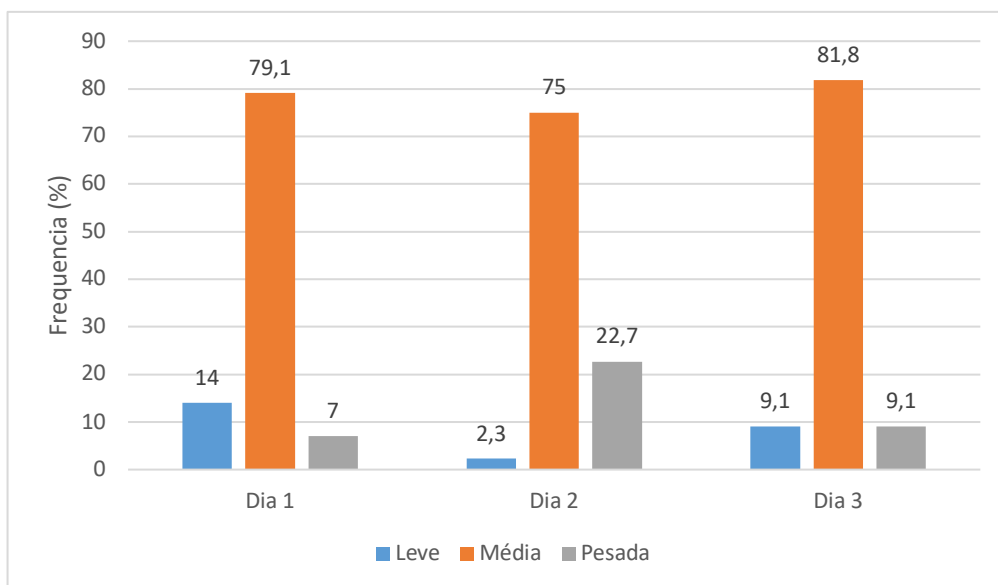


Figura 22- Frequência de distribuição em relação a vestimenta nos três dias.

Fonte: Dados da pesquisa

Por meio da Figura 22, pode-se observar que, durante o período em estudos, a categoria de “vestimenta média” foi mais utilizada pelos indivíduos da amostra prospectada, mesmo variando-se as condições de ambiente interno dentro da sala de aula.

## 4.2 Caracterização do ambiente interno da sala de aula

Durante os três dias de aplicação dos testes de avaliação do desempenho cognitivo dos alunos, a sala de aula foi submetida a três condições de ambiente interno distintas (cenários), tal como apresentado no Quadro 12.

Quadro 12 - Descrição dos cenários utilizados

Dias	Características
1	Cenário 1- Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas.
2	Cenário 2- Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas.
3	Cenário 3- Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas.

Fonte: Dados da pesquisa

Foram coletados dados de Temperatura Ambiente (°C), Temperatura de Globo (°C), Velocidade do ar (m/s), níveis de CO<sub>2</sub> e Umidade do Ar (%). Os dados foram coletados em cinco pontos distribuídos na sala em estudo. O croqui dos pontos de coleta pode ser visto na Figura 12 e os equipamentos utilizados na Figura 11.

A cada dia de estudos, os alunos foram submetidos a aplicação de três testes tipo K e três testes tipo P (distintos a cada dia). Durante a aplicação dos testes, foram realizadas medições das características do ambiente interno nos cinco pontos demarcados na sala de aula, totalizando quinze leituras a cada dia. Ao final dos três dias de coleta de dados, foram realizadas 45 leituras.

A amostra iniciou-se com 50 estudantes, porém, nos dias posteriores houve ausência de sete participantes, ficando a amostra com 43 participantes. Cada aluno foi alocado em uma carteira específica, o qual deveria ficar durante os três dias de coleta de dados. A Figura 23 apresenta os valores médios de cada parâmetro, determinados para cada dia de estudo.

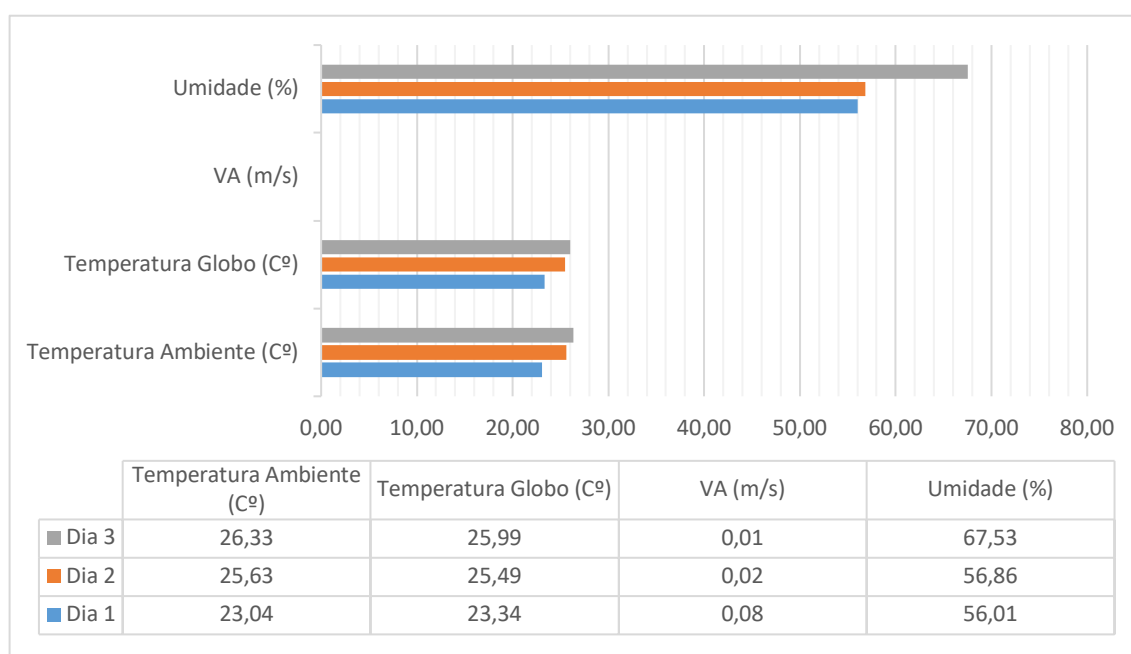


Figura 23- Medidas médias efetuadas para cada dia.

Fonte: Dados da pesquisa

Constata-se, por meio da Figura 23, que o cenário referente ao dia 1 (sala fechada e ar-condicionado ligado) foi o que apresentou os menores valores de temperatura e umidade do ar, além de maior velocidade de circulação do ar. Deve-se destacar que a temperatura do ar-condicionado, programada inicialmente neste cenário, era de 22° C; no entanto, constatou-se um valor médio de, aproximadamente, 23° C. O maior valor de velocidade do ar deve-se a circulação promovida pelo aparelho de ar-condicionado tipo Split. Deve-se destacar que, no cenário 2, mesmo as janelas e portas estando abertas, a velocidade do ar foi próxima ao cenário 3 (portas e janelas fechadas e ar-condicionado

desligado). Tal fato pode ser explicado em função da localização da sala de aula em estudos. Esta situa-se no interior do andar do prédio (tal como apresentado na Figura 9), ou seja, em posição longe de janelas e fontes de ventilação externas. A Figura 24 apresenta os níveis médios de CO<sub>2</sub> determinados em cada cenário.

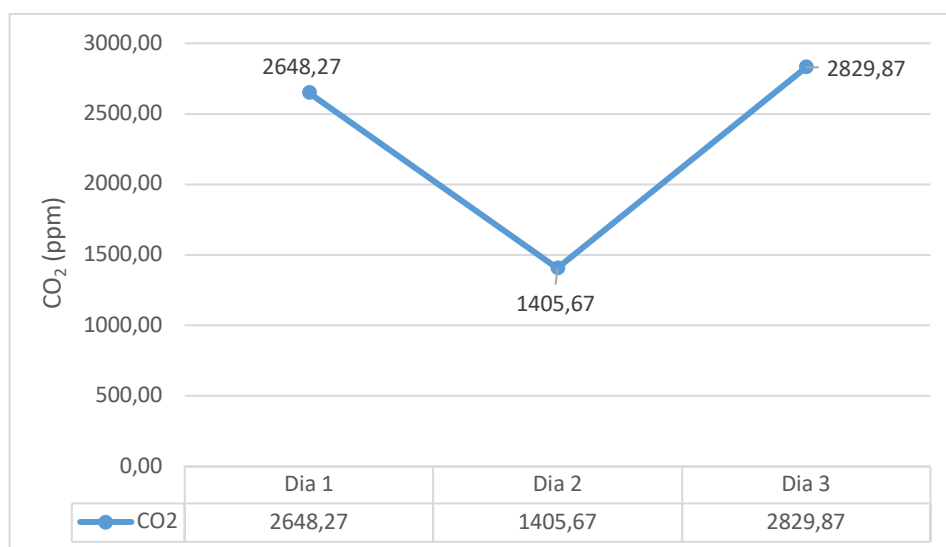


Figura 24- Níveis de CO<sub>2</sub> médios medidos durante cada dia.

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com a Figura 24, pode-se verificar que o cenário 2 foi o que apresentou menor nível de CO<sub>2</sub> disperso no ar; enquanto o cenário 3 foi o que apresentou o maior nível. Ressalte-se o fato de que o cenário 1, mesmo com velocidade de circulação de ar 4 vezes superior à do dia 2, tenha apresentado nível médio de CO<sub>2</sub> quase 2 vezes superior.

Deve-se destacar que, mesmo havendo uma maior velocidade de circulação do ar no cenário 1, a porta e as janelas encontravam-se fechadas, ou seja, não havia renovação do ar, apenas recirculação deste. No cenário 2, no entanto, mesmo com a velocidade do ar menor, a abertura da porta e das janelas promovia, por meio de ventilação cruzada, a renovação do ar interno e a dispersão do CO<sub>2</sub>, tal como já constatado em trabalho conduzido por Fonseca et al (2010).

Entretanto, mesmo que o cenário 2 tenha apresentado menores valores de CO<sub>2</sub>, tal fato não quer dizer que os níveis observados sejam satisfatórios para garantir o conforto ambiental dos estudantes. Segundo Mesquita e Lima (2006), consideram-se níveis normais de dióxido de carbono valores entre 360 e 1000ppm. Ressalta-se que o valor médio obtido para o cenário 2 foi cerca de 40% superior. Segundo os autores, níveis de

dióxido de carbono superiores a 1000ppm, caso haja exposição prolongada de estudantes nesta condição, podem conduzir a prejuízos na concentração destes.

A seguir, são demonstrados os valores de dióxido de carbono medidos a cada dia de estudo em cada ponto da sala de aula.

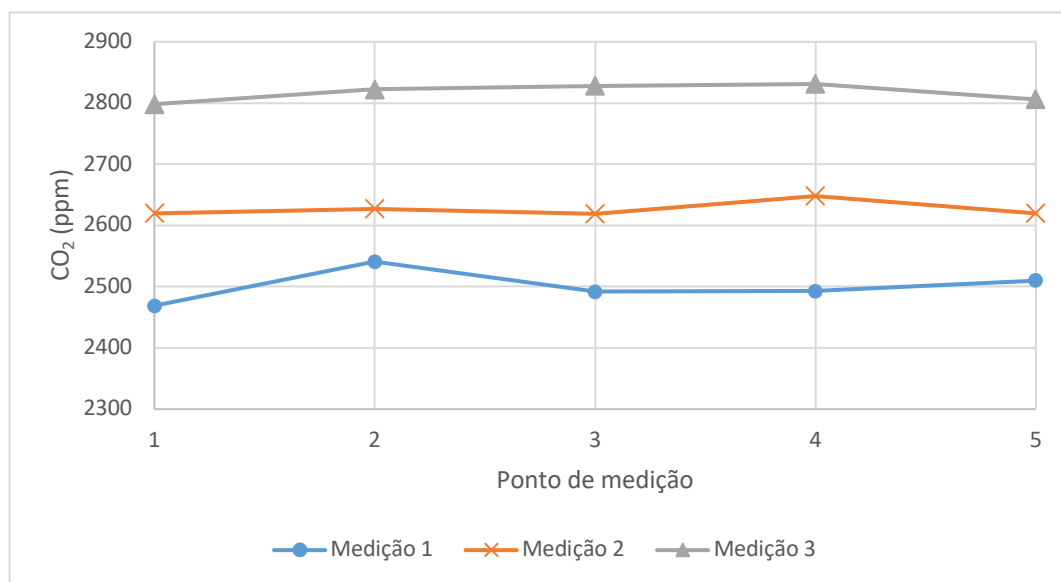


Figura 25- Níveis de CO<sub>2</sub> obtidos durante o primeiro dia em cada ponto (cenário 1- Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas.).

Fonte: Dados da pesquisa

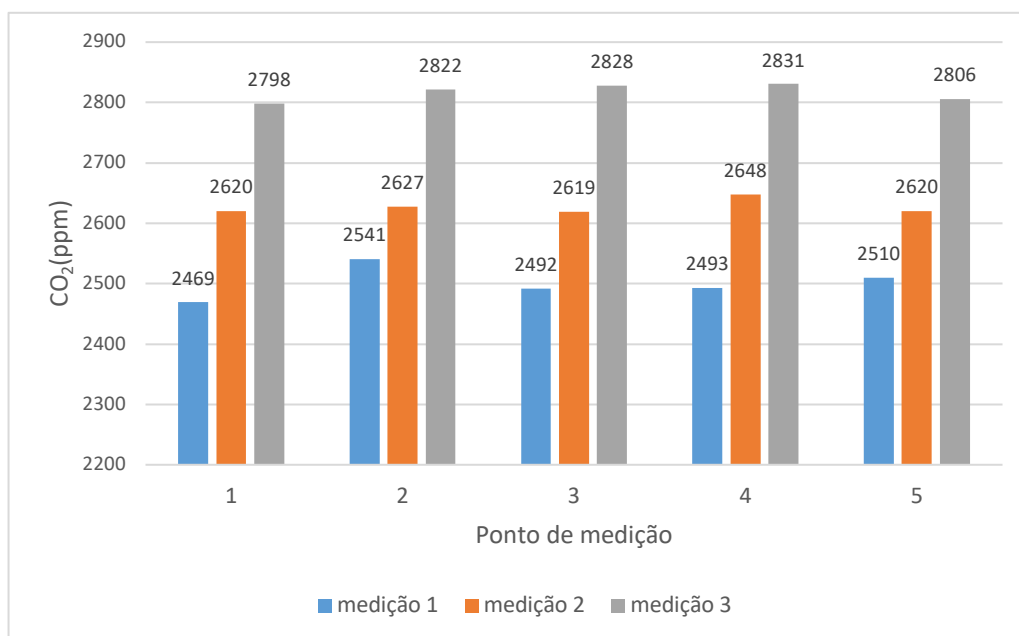


Figura 26- Incremento dos níveis de CO<sub>2</sub> em cada ponto durante as medições efetuadas (cenário 1- Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas).

Fonte: Dados da pesquisa



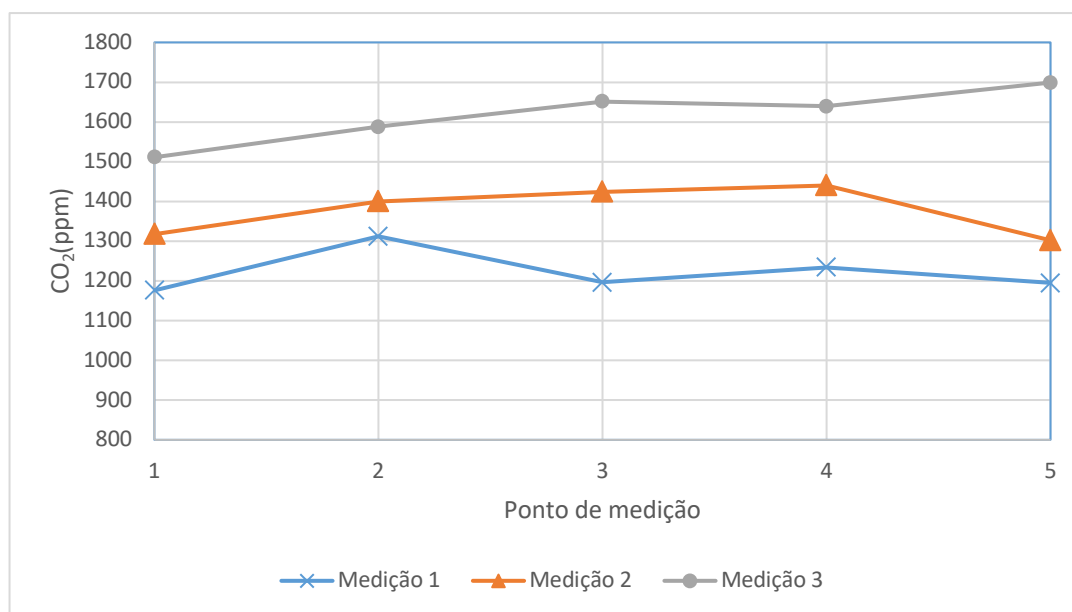


Figura 27-Níveis de CO<sub>2</sub> obtidos durante o segundo dia em cada ponto (Cenário 2- Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas).

Fonte: Dados da pesquisa

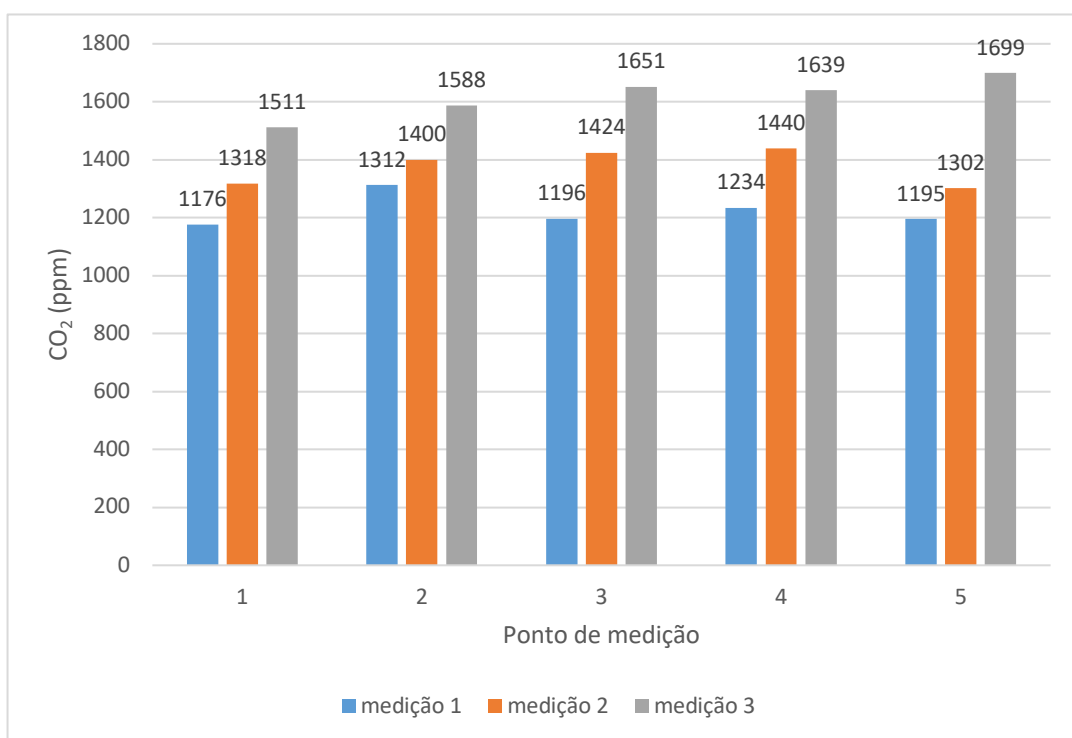


Figura 28- Incremento dos níveis de CO<sub>2</sub> em cada ponto durante as medições efetuadas (Cenário 2- Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas).

Fonte: Dados da pesquisa

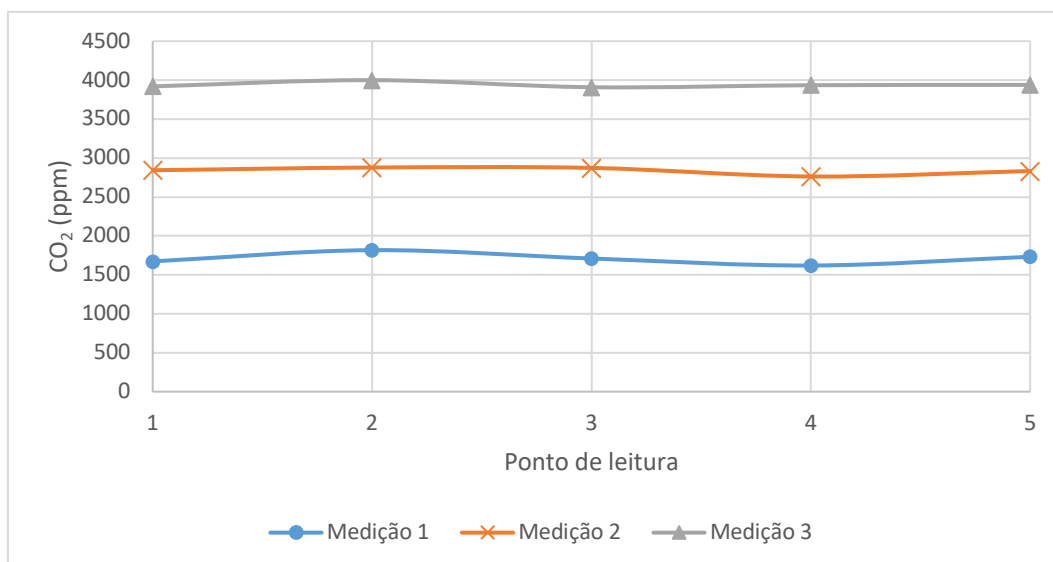


Figura 29- Níveis de CO<sub>2</sub> obtidos durante o terceiro dia em cada ponto (Cenário 3- Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas).

Fonte: Dados da pesquisa

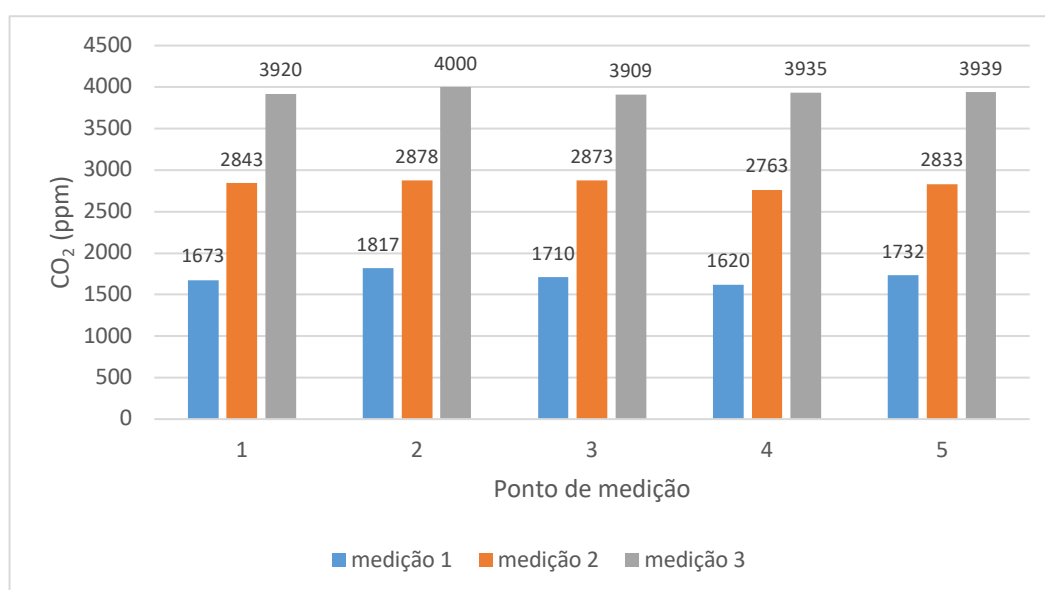


Figura 30- Incremento dos níveis de CO<sub>2</sub> em cada ponto durante as medições efetuadas (Cenário 3- Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas)

Fonte: Dados da pesquisa

Com base nos gráficos apresentados, pode-se constatar que, independentemente do ponto de medição, os níveis de CO<sub>2</sub> pouco variaram, ou seja, qualquer que fosse a posição do aluno em sala de aula, esta não seria fator determinante em relação aos níveis de dióxido de carbono que este estaria submetido.

No entanto, percebe-se que, a medida que as medições eram realizadas, os níveis de CO<sub>2</sub> apresentaram incremento em todos os pontos de coleta, tendo em vista que o CO<sub>2</sub>

foi se acumulando. Dessa forma, pode-se constatar que, qualquer que seja a posição do aluno na sala de aula, este estará submetido aos mesmos níveis de CO<sub>2</sub>. Contudo, estes níveis sofrem aumento com o tempo de permanência destes dentro da sala de aula.

As Figuras seguintes apresentam os valores de temperatura do ar na sala de aula, obtidos durante o primeiro dia (cenário 1- Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas).

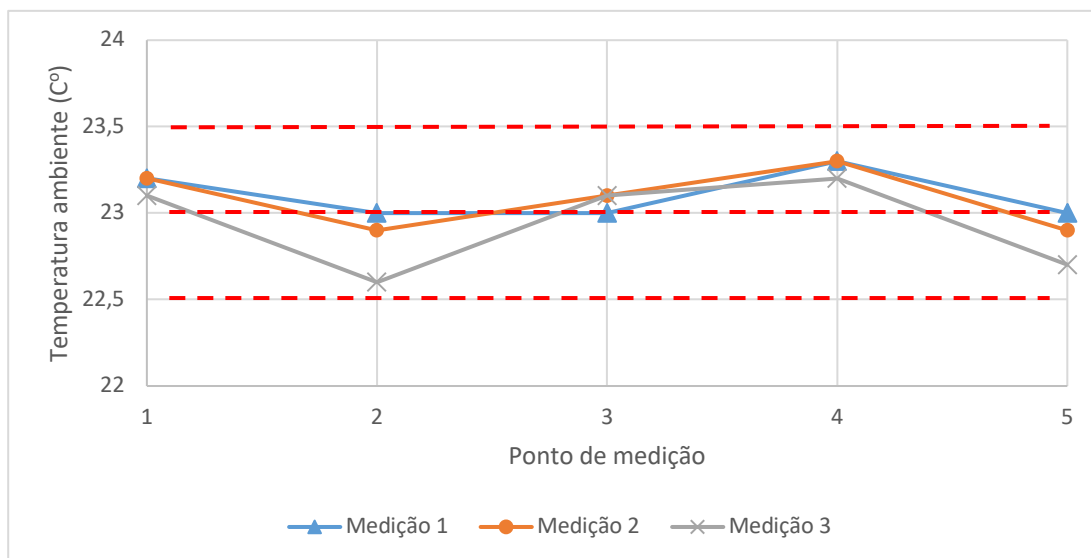


Figura 31- Valores de temperatura interna do ar obtidos durante primeiro dia (cenário 1- Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas).

Fonte: Dados da pesquisa

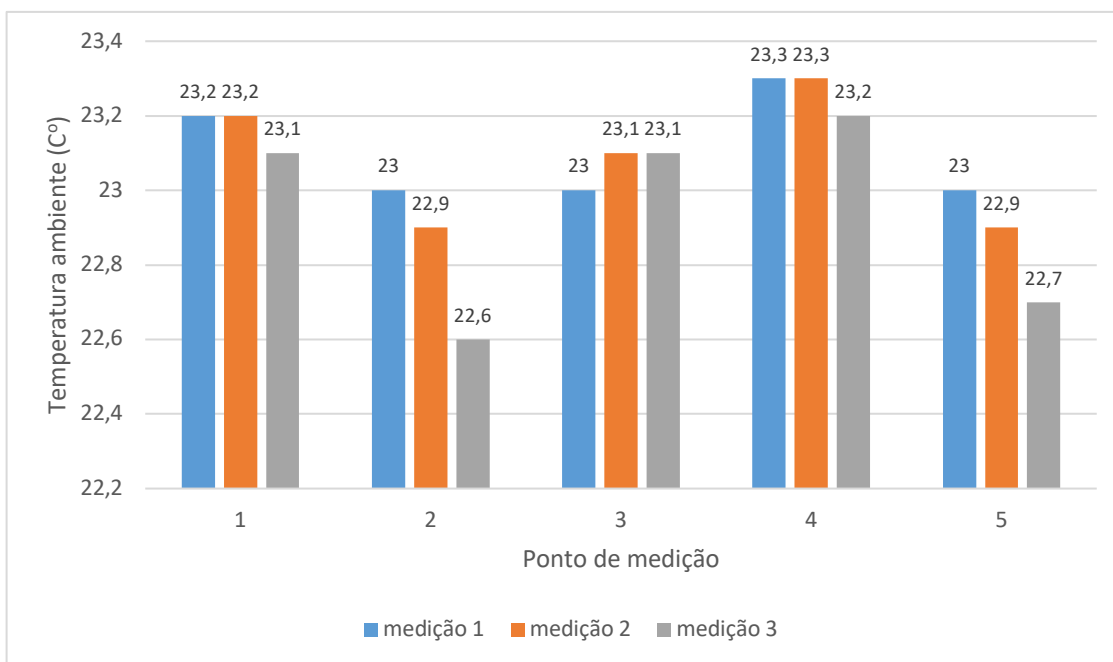


Figura 32- Incremento na temperatura do ar em cada ponto durante as medições efetuadas- (cenário 1- Porta fechada com o Ar-Condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas).

Fonte: Dados da pesquisa

Por meio da Figura 31, pode-se notar que, apesar do ar-condicionado ter sido regulado para operar 22°C, a temperatura interna média foi de 23°C, apresentando uma variação durante o período de estudos de + ou -0,5°C.

Também se verifica que, entre os pontos de medição, a temperatura pouco variou. Nestes, destacam-se os pontos de leitura 2 e 5, os quais apresentaram os menores valores. Tal fato pode ser explicado em função da posição destes, ou seja, encontram-se em posição linearmente oposta ao ar-condicionado. Também se verifica que, apesar de pequena variação, a temperatura apresentou leve redução em relação ao tempo de permanência dos estudantes na sala de aula.

As Figuras 33 e 34 apresentam a variação dos valores medidos durante o segundo dia.

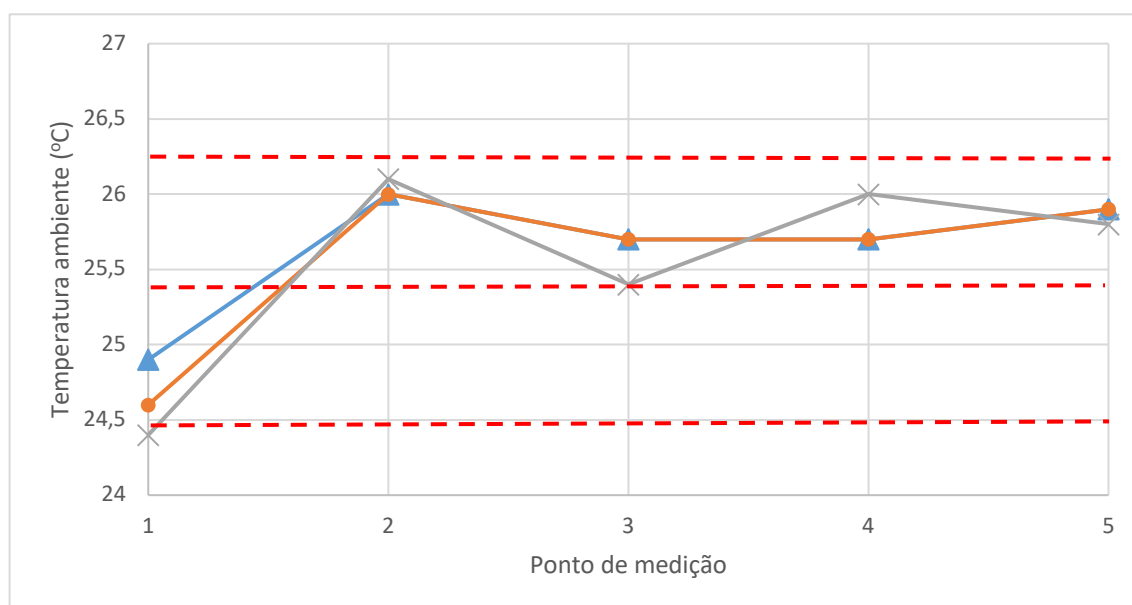


Figura 33- Valores de temperatura interna obtidos durante segundo dia (Cenário 2- Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas).

Fonte: Dados da pesquisa

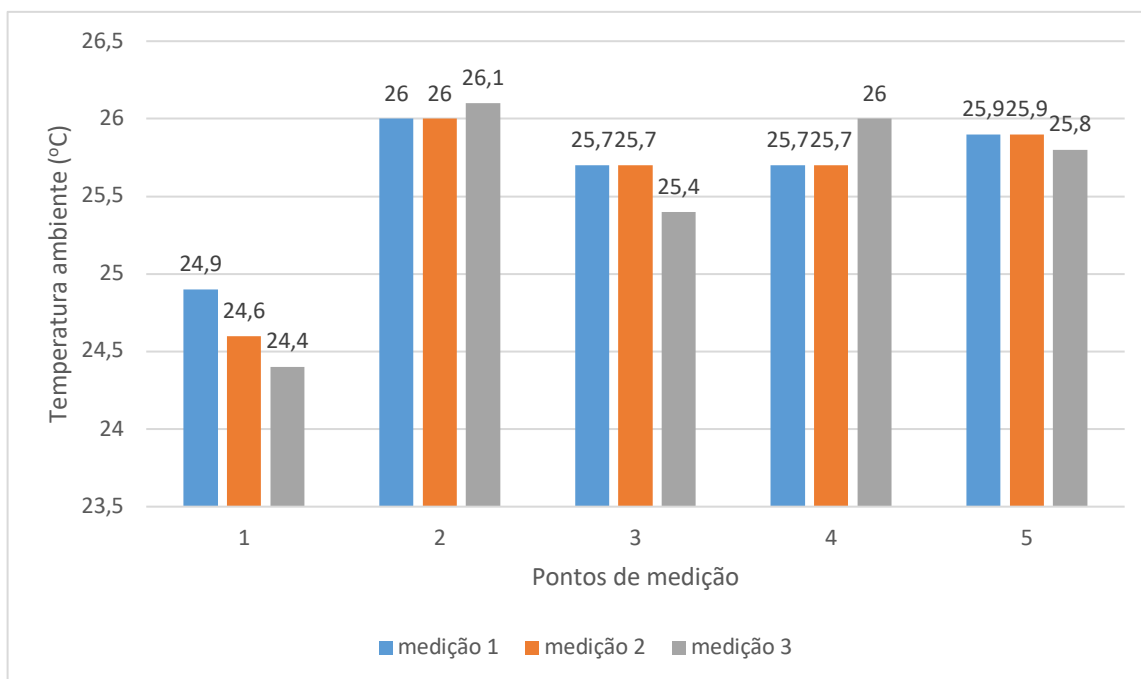


Figura 34- Incremento na temperatura do ar em cada ponto durante as medições efetuadas- segundo dia (Cenário 2- Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas).

Fonte: Dados da pesquisa

No segundo dia (cenário 2), verifica-se que a temperatura do ar na sala de aula foi superior à do primeiro dia, uma vez que não havia ar-condicionado. Também se observa que, dentre os pontos de medição, o ponto 1 foi o que apresentou menores valores de temperatura, enquanto os demais apresentaram valores semelhantes entre si.

Isso é explicado pelo fato de o ponto 1 situar-se mais próximo da porta da sala de aula, assim a ventilação natural seria mais eficiente neste local. De uma forma geral, a temperatura média do ar na sala de aula foi de 25,25°C, variando entre valores próximos a 24,4°C e 26,1°C, ou seja, variação superior àquela verificada para a condição de ar-condicionado e portas e janelas fechadas.

A seguir, são apresentados os valores obtidos para a sala de aula no terceiro dia (Cenário 3- Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas).

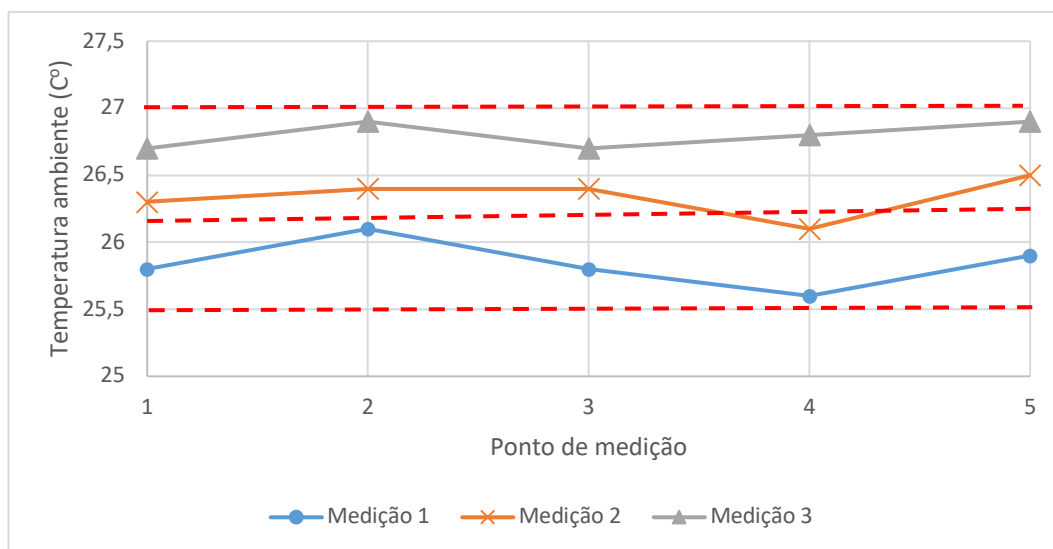


Figura 35- Valores de temperatura interna obtidos durante terceiro dia (Cenário 3- Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas).

Fonte: Dados da pesquisa

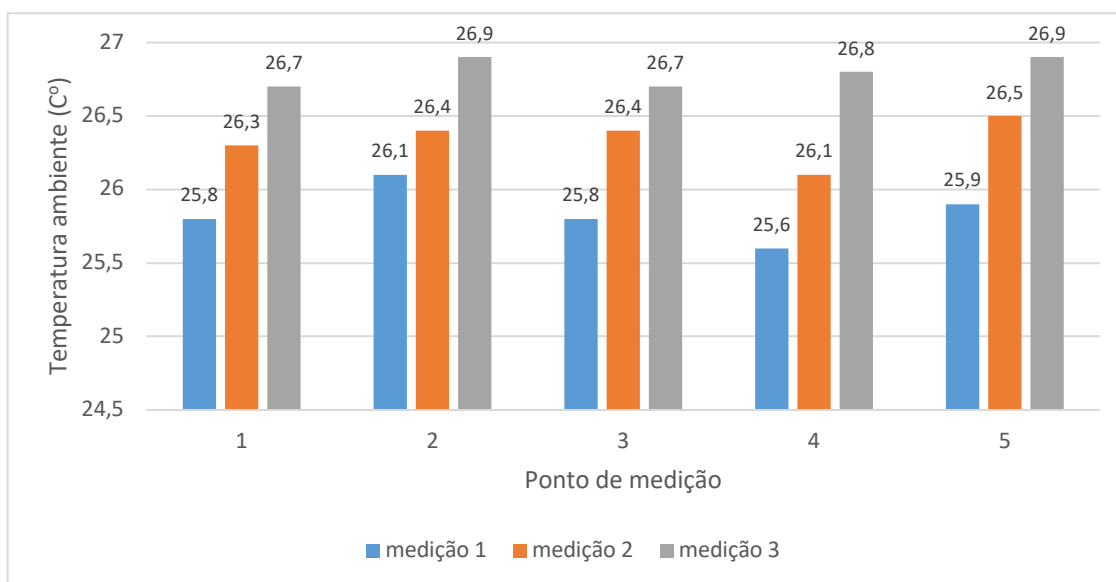


Figura 36- Incremento na temperatura do ar em cada ponto durante as medições efetuadas- terceiro dia (Cenário 3- Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas).

Fonte: Dados da pesquisa

Constata-se, por meio das Figuras 35 e 36, que o cenário 3 foi o que possibilitou maiores valores de temperatura do ar, uma vez que, neste caso, tanto a porta, como as janelas encontravam-se fechadas. Da mesma forma que o ocorrido no cenário 2, o ponto de medição que apresentou menores valores de temperatura foi o 1, ou seja, aquele situado mais próximo a porta da sala de aula.

Também se observa que a temperatura, em todos os pontos de medição, sofreu incremento com o tempo de permanência dos alunos dentro da sala de aula. A temperatura média foi de, aproximadamente, 26,3°C, variando entre 25,6°C e 26,9°C.

De uma maneira geral, constata-se que a temperatura do ar na sala de aula variou, nos três cenários em estudo, entre 23°C e 27° C. Segundo Mesquita e Lima (2006), estes valores encontram-se em uma faixa aceitável. De acordo com os autores, a faixa recomendada para ambientes climatizados deve variar entre 23° C e 26° C no verão, e a faixa máxima deve ser de 26,5° C a 27° C, com exceção de áreas de acesso, as quais poderão operar até 28°C.

As Figuras 37 e 38 demonstram os valores de umidade do ar obtidos para cada ponto em cada cenário estudado.

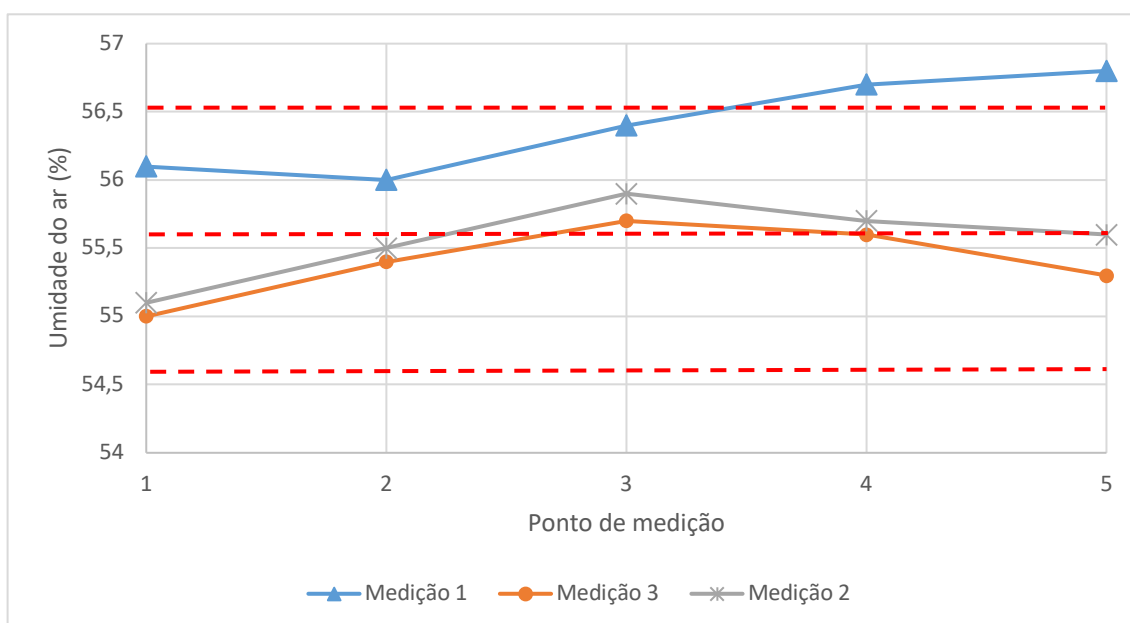


Figura 37- Valores de umidade interna do ar obtidos durante primeiro dia (cenário 1- Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas).

Fonte: Dados da pesquisa

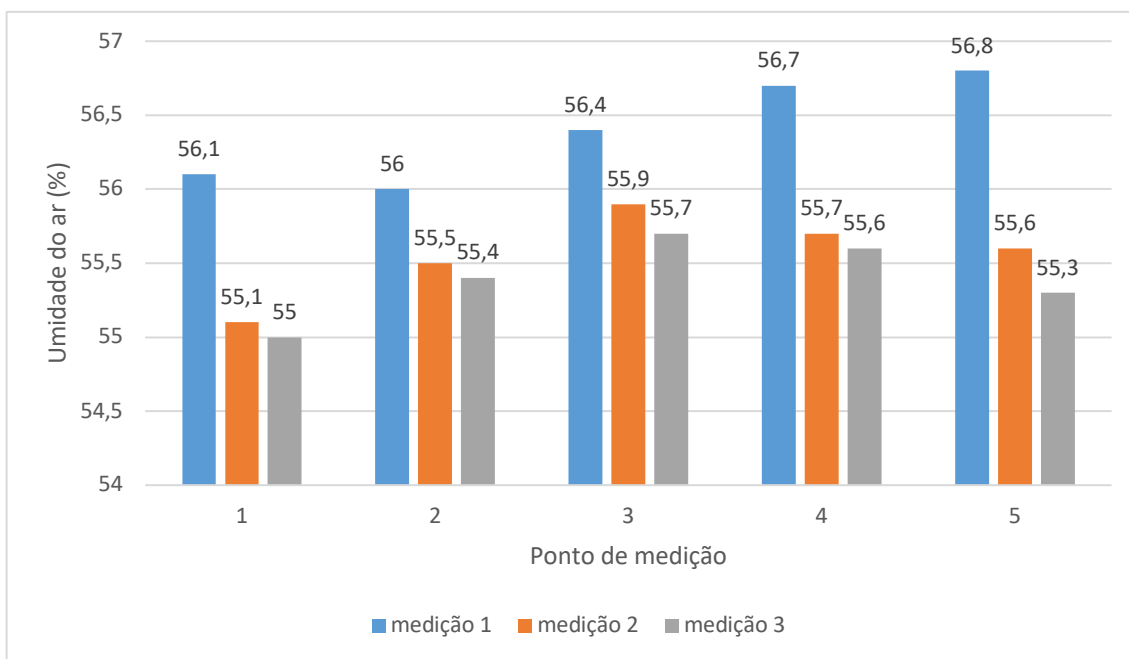


Figura 38- Incremento na umidade do ar em cada ponto durante as medições efetuadas- primeiro dia (cenário 1- Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas).  
Fonte: Dados da pesquisa

Por meio das figuras apresentadas, pode-se notar que o cenário 1 foi o que apresentou os menores valores de umidade do ar verificados em comparação com os demais. O valor médio foi de 56%, com variação entre 55 e 57%. Constata-se, também, que a primeira medição, em todos os pontos, apresentou maiores valores de umidade, sendo que as demais medições tenderam a estabilidade.

Tal situação decorre da queda de umidade do ar proporcionada pela utilização do ar-condicionado. Na primeira medição, o aparelho estava operando a poucos minutos, dessa forma, a umidade do ar ainda era mais elevada. A medida que o ar-condicionado funcionava na sala, a umidade do ar decaiu até atingir constância de valor.

As Figuras 39 e 40 apresentam os valores de umidade do ar obtidos para o segundo dia de estudos (cenário 2- Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas).



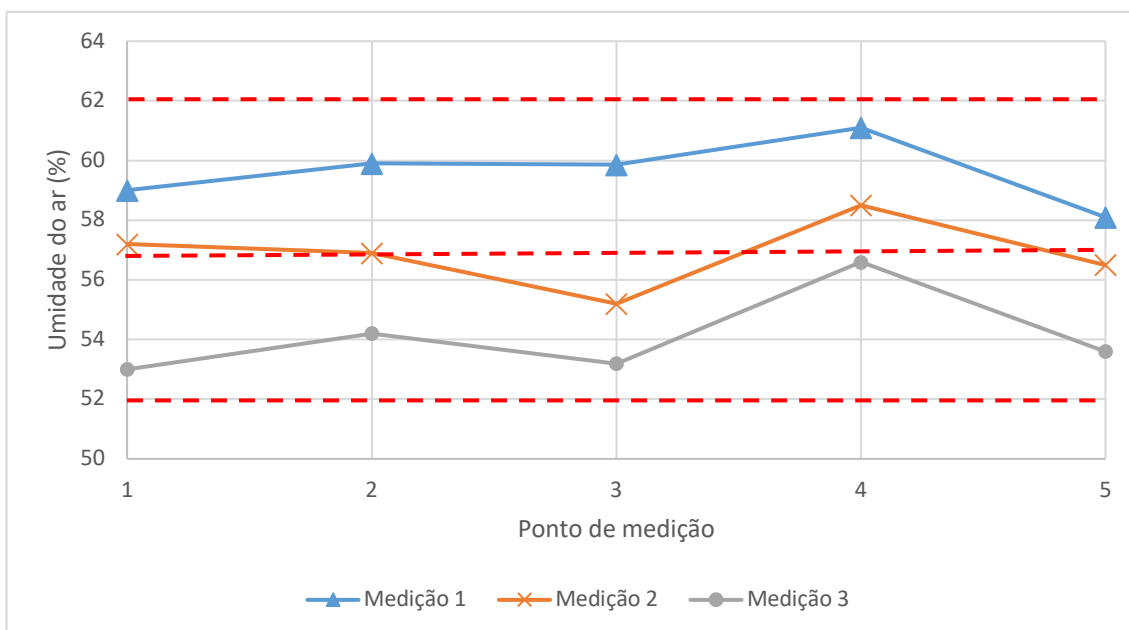


Figura 39- Valores umidade interna do ar obtidos durante segundo dia (cenário 2- Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas).

Fonte: Dados da pesquisa

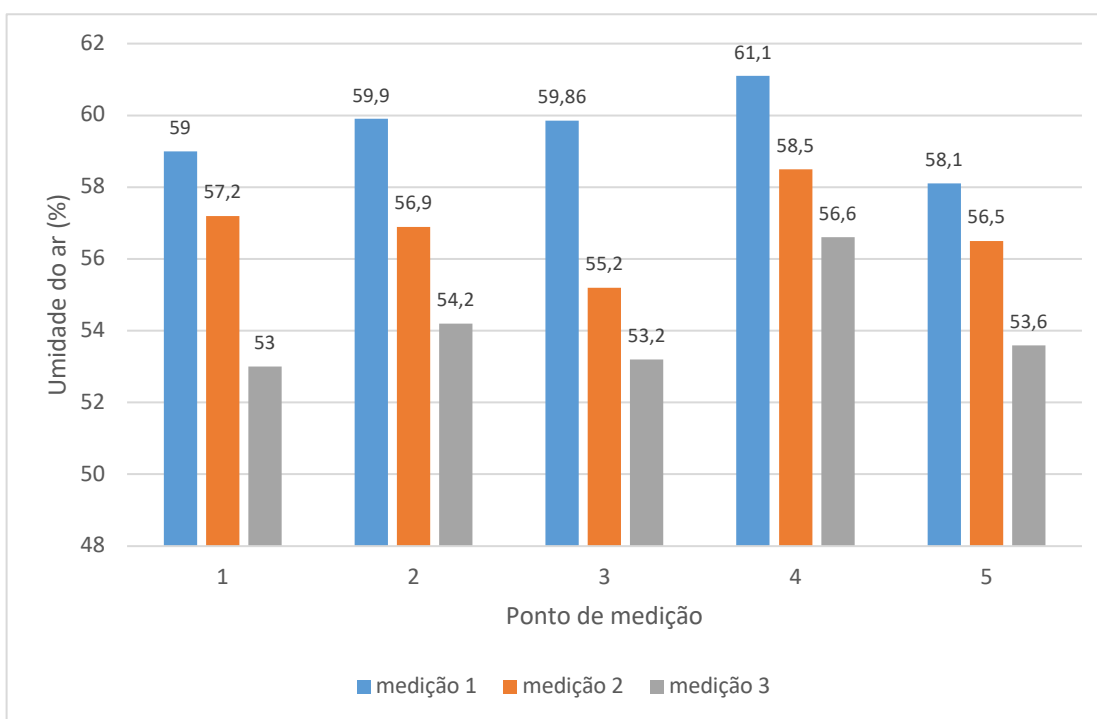


Figura 40- Incremento na umidade do ar em cada ponto durante as medições efetuadas- segundo dia (cenário 2- Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas).

Fonte: Dados da pesquisa

No segundo dia, o ar-condicionado estava desligado e a porta e as janelas abertas; assim, verifica-se que o valor de umidade do ar no cenário 2º dia (cenário 2- Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas) foi superior ao primeiro. Também se verifica

uma redução dos valores de umidade do ar a cada medição, indicando que o tempo de permanência dos alunos em sala proporcionou a redução da umidade do ar, mesmo com porta e janelas abertas. No entanto, destaca-se que os valores de umidade do ar, obtidos para a última medição, foram inferiores aos obtidos, nesta mesma medição, ao se comparar o cenário 1.

As Figuras 41 e 42 apresentam os valores de umidade do ar determinados para o terceiro dia (Cenário 3- Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas).

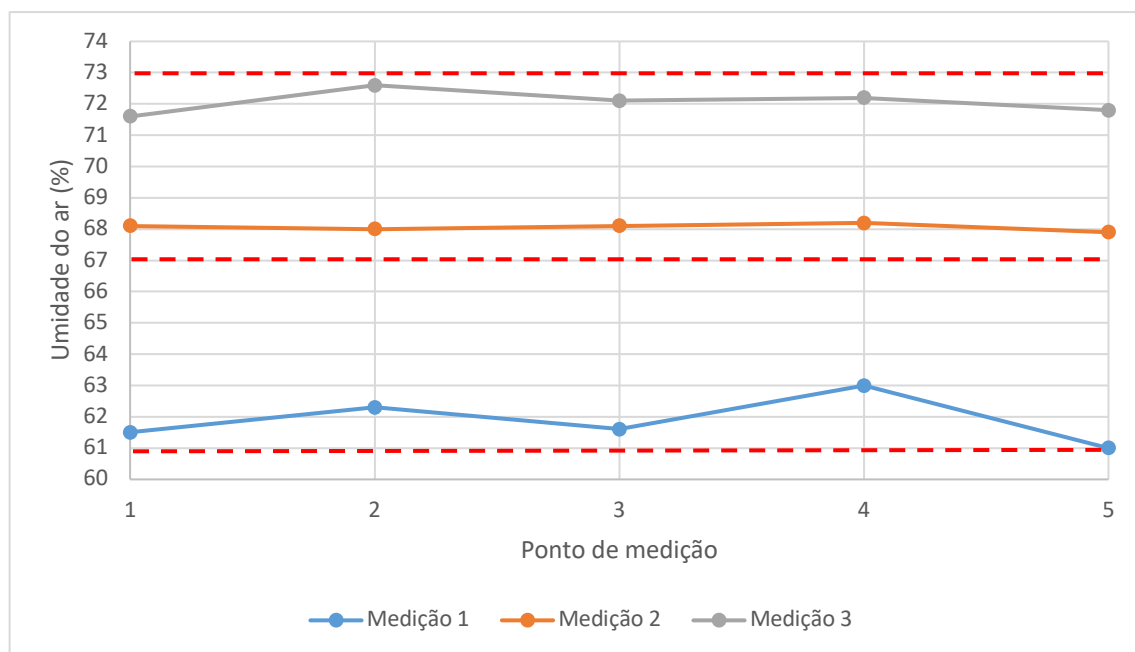


Figura 41- Valores de umidade interna do ar obtidos durante terceiro dia (Cenário 3- Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas).

Fonte: Dados da pesquisa

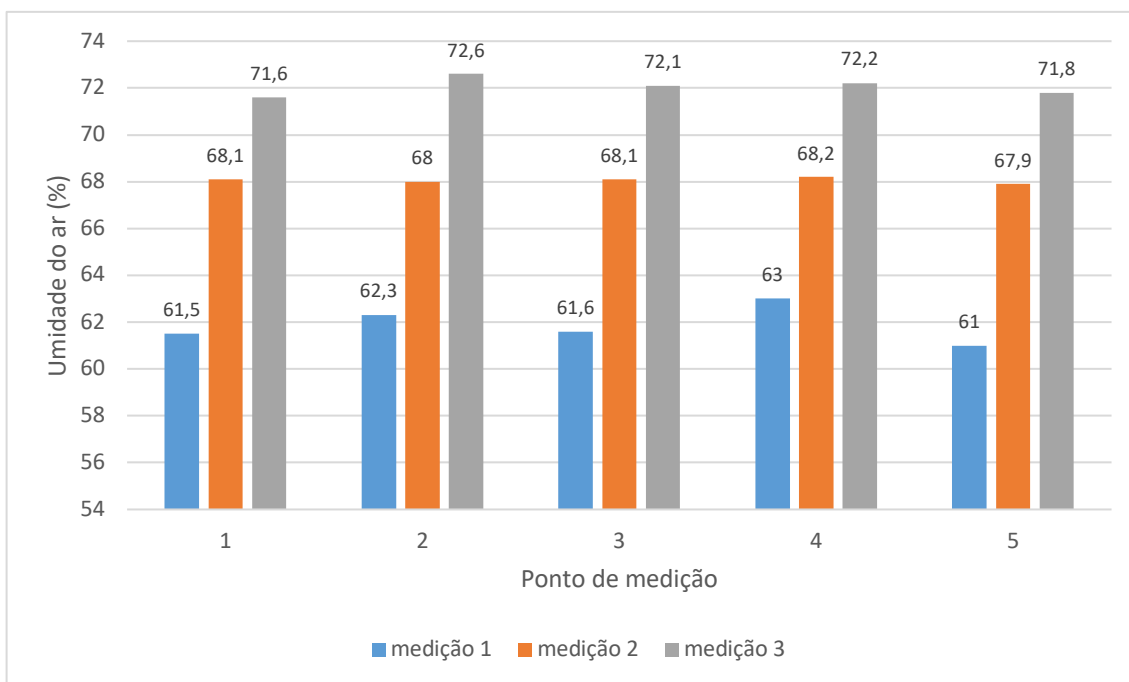


Figura 42- Incremento na umidade do ar em cada ponto durante as medições efetuadas- terceiro dia (cenário 3- Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas).

Fonte: Dados da pesquisa

Os valores de umidade obtidos para o cenário 3, em todos os pontos de medição, foram superiores aos constatados para os demais cenários estudados. Destaca-se que, no terceiro dia, os valores de umidade do ar tenderam a aumentar com as medições efetuadas, e não a reduzir como observados nos cenários anteriores. Dessa forma, pode-se assumir que, ao se considerar a condição de porta e janelas fechadas, as tendências da umidade do ar é sofrer aumento significativo com o tempo de permanência dos alunos na sala de aula, tal como ocorrido com a temperatura e os níveis de CO<sub>2</sub>.

Verifica-se também que, nos cenários 1 e 2, os valores máximos atingidos de umidade do ar foram respectivamente 56,8 e 61,1%, enquanto ,para o cenário 3, o máximo atingido foi de 72,6%. Segundo a Resolução n.176 (2000) da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, a faixa recomendada de umidade do ar para ambientes climatizados deverá situar-se entre 40 e 65% no verão e 35 e 65% no inverno. Valores acima de 70% causam a saturação do ar, interferindo no mecanismo de controle da temperatura corporal exercido pela transpiração.

A Figura 43 apresenta os valores dos níveis de dióxido de carbono, considerando-se todas as medições a cenário em estudo.

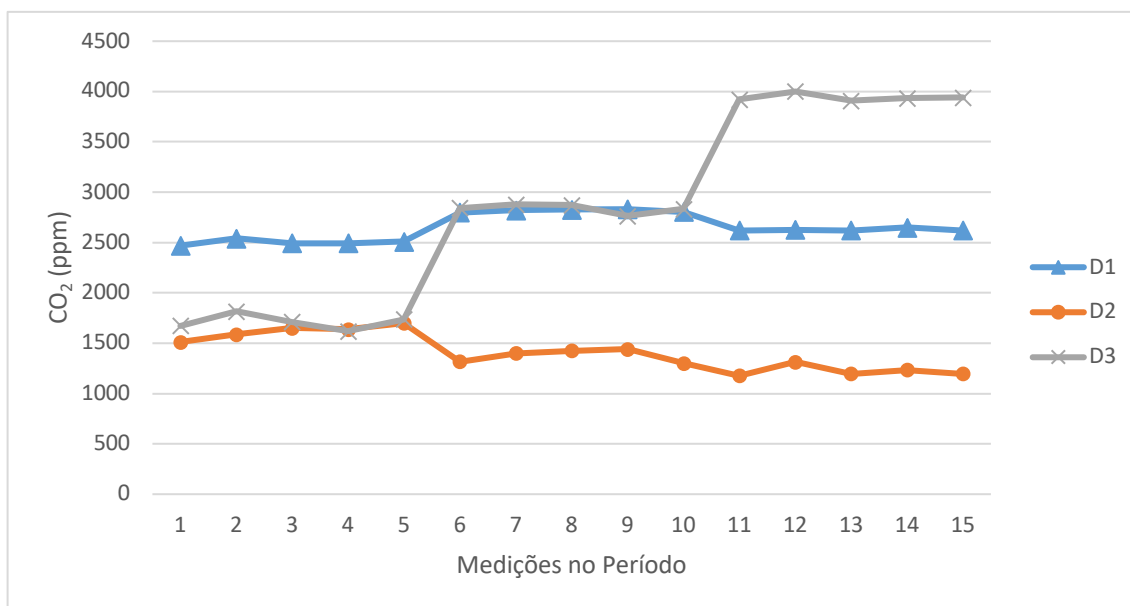


Figura 43- Níveis médios CO<sub>2</sub> médios obtidos para os três cenários de estudo (medidas 1 a 5:cenário 1; medidas 6 a 10: cenário 2; medidas 11 a 15: cenário 3).

fonte: Dados da Pesquisa

De acordo com a Figura 43, pode-se observar que os cenários dos dias 1 e 2 apresentaram pouca variação em relação aos níveis observados de CO<sub>2</sub> durante o tempo de aplicação dos testes na sala de aula. No entanto, percebe-se que o cenário 3 (porta e janelas fechadas) apresentou um crescimento nos níveis de dióxido de carbono a partir da quinta medição. Ressalta-se que este cenário, ao final, foi o que apresentou os maiores níveis de CO<sub>2</sub>.

Dentre todos os cenários estudados, o cenário 2 foi o que apresentou (em todas as medições) os menores níveis de CO<sub>2</sub>, uma vez que, neste dia, as portas e janelas encontravam-se abertas, o que facilitava a circulação do ar por meio de ventilação cruzada. Contudo, deve-se destacar que, mesmo sendo o menor nível de dióxido de carbono medido na sala de aula, este ainda é superior ao máximo valor citado por Mesquita e Lima (2006), ou seja, 1000ppm.

A Figura 44 apresenta a temperatura do ar, considerando-se todos os cenários estudados. A Figura 45 demonstra a variação da temperatura do ar obtida por meio da média de cada ponto de medição da sala de aula (1,2,3,4 e 5), considerando-se os três dias de estudo (cenários 1,2 e 3).

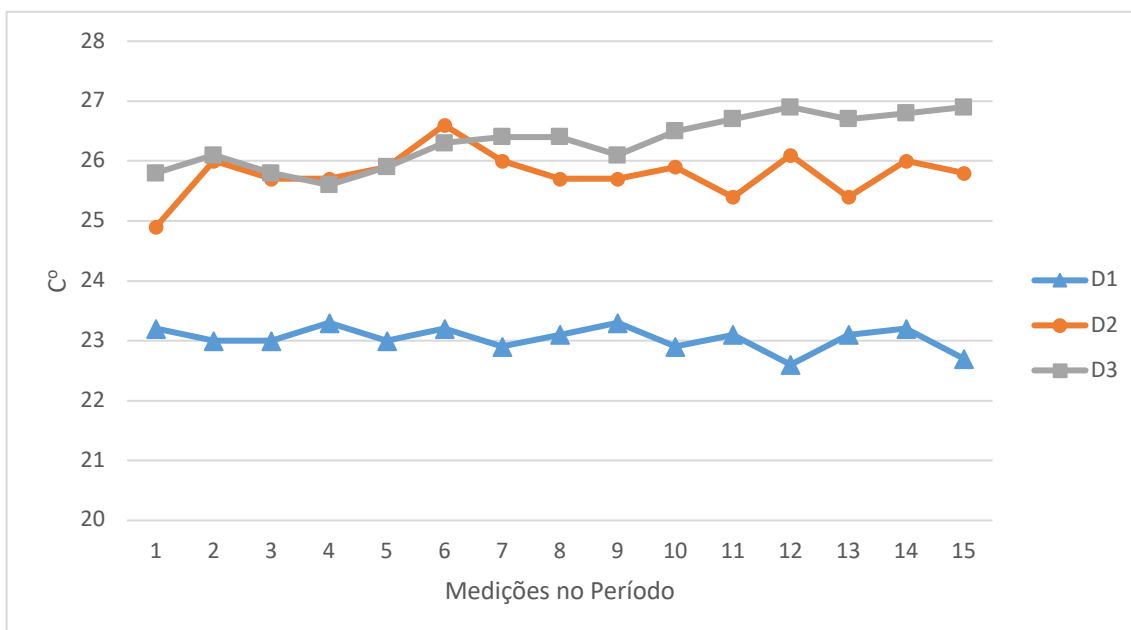


Figura 44- Comparação entre os valores de temperatura ambiente para os três cenários em estudo (medidas 1 a 5: cenário 1; medidas 6 a 10: cenário 2; medidas 11 a 15: cenário 3).

Fonte: Dados da pesquisa

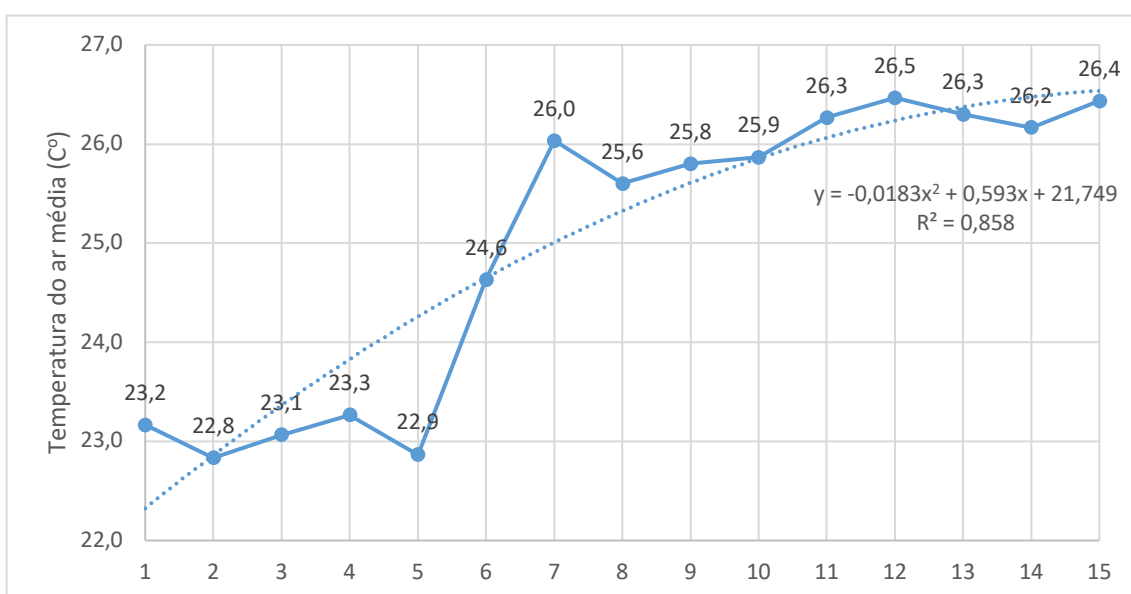


Figura 45- Comparação entre os valores de temperatura ambiente para os três cenários em estudo (medidas 1 a 5: cenário 1; medidas 6 a 10: cenário 2; medidas 11 a 15: cenário 3).

Fonte: Dados da pesquisa

Por meio das figuras apresentadas, pode-se verificar que o cenário 1 foi o que apresentou as temperaturas do ar mais baixas em relação aos demais cenários estudados, ou seja, em torno de 23°C. O cenário referente ao dia 3 apresenta, a partir da medição 6, maior temperatura que o cenário 2. Ao se verificar a Figura 45, pode-se notar que o incremento de temperatura durante o período em estudos (considerando-se a média dos

pontos de cada medição) assumiu o comportamento que se ajusta a uma curva polinomial com  $R^2 = 0,858$ .

As seguintes apresentam os valores de umidade do ar verificados durante os três dias e a média dos pontos de medição em cada cenário.

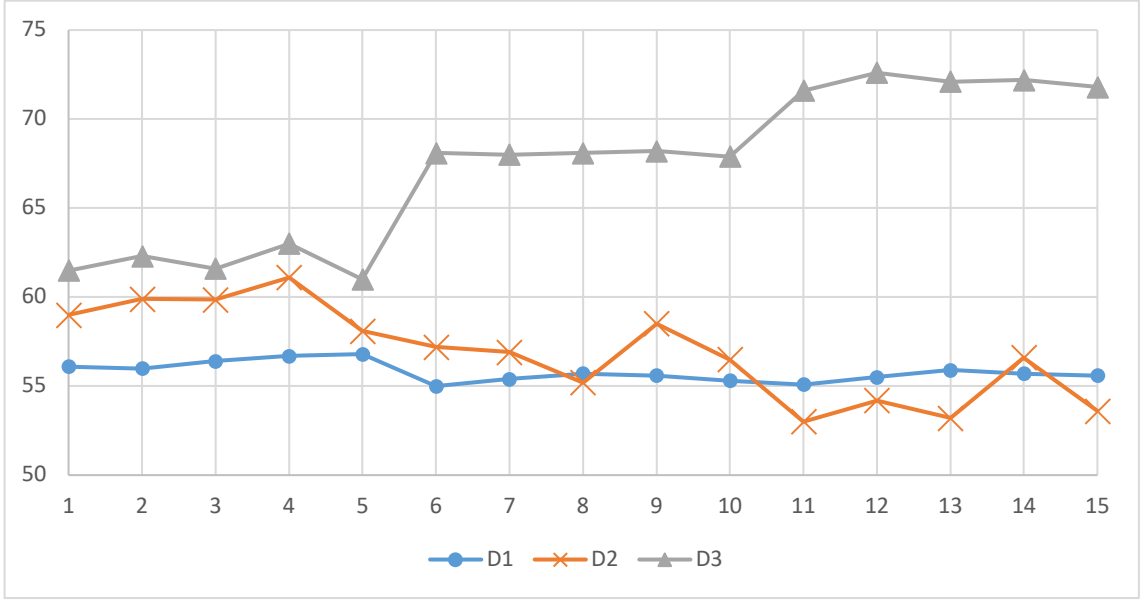


Figura 46- Valores de umidade interna do ar obtidos durante todos os cenários em estudo (medidas 1 a 5: cenário 1; medidas 6 a 10: cenário 2; medidas 11 a 15: cenário 3).

Fonte: Dados da pesquisa

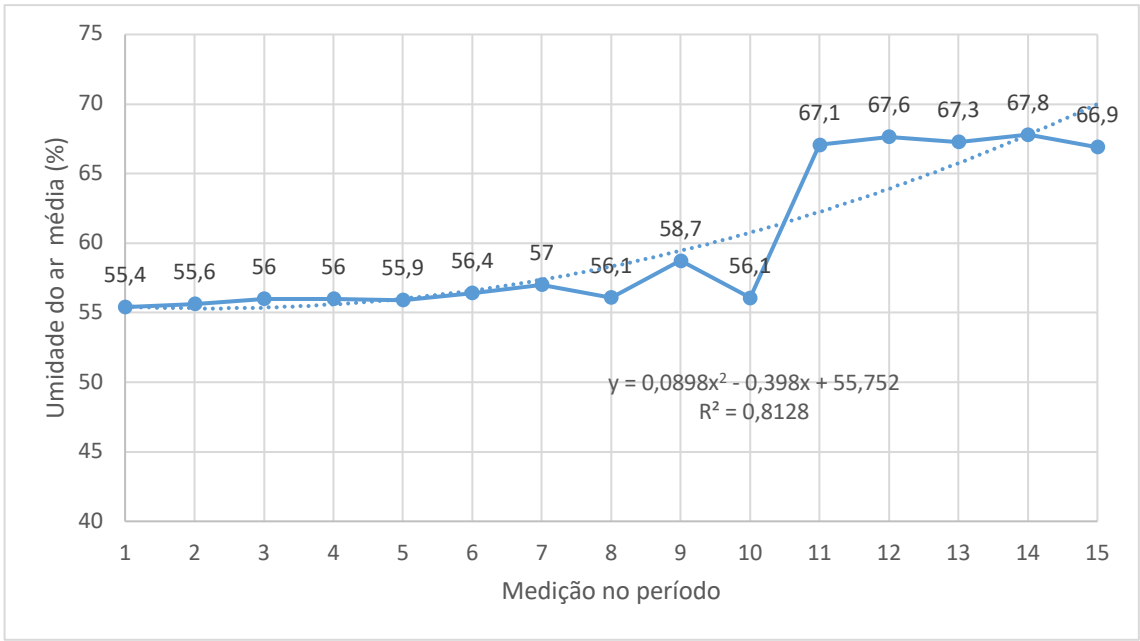


Figura 47- Valores de umidade interna do ar obtidos durante todos os cenários em estudo (medidas 1 a 5: cenário 1; medidas 6 a 10: cenário 2; medidas 11 a 15: cenário 3).

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com a Figura 47, nota-se que o cenário 3 foi o que apresentou os maiores valores de umidade do ar. O cenário 1, no qual o ar-condicionado estava ligado, apresentou menores valores, além de maior constância destes, os quais ficaram em torno de 55%. O cenário 2 apresentou uma tendência de redução da umidade do ar com o tempo de permanência dos alunos na sala de aula. Ao se considerar o gráfico apresentado na Figura 50, pode-se verificar que a tendência de incremento da média dos pontos de medição, considerando-se todos os cenários, também se ajustou bem ao formato de uma curva polinomial ( $R^2 = 0,8128$ ). Os valores de umidade e temperatura colhidos foram utilizados para caracterizar o ambiente interno da sala de aula, como se vê no Quadro 13, para tal foi o utilizado o Diagrama de Conforto Humano apresentado na Figura 48.

Quadro 13 - Temperatura e umidade médias em cada ponto de medição (medidas 1 a 5: cenário 1; medidas 6 a 10: cenário 2; medidas 11 a 15: cenário 3).

Parâmetro	Média entre as medições em cada ponto															Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Temperatura (°C)	23,2	22,8	23,1	23,3	22,9	24,6	26	25,6	25,8	25,9	26,3	26,5	26,3	26,2	26,4	25,0
Umidade (%)	55,4	55,6	56	56	55,9	56,4	57	56,1	58,7	56,1	67,1	67,6	67,3	67,8	66,9	60,0

Fonte: Dados da pesquisa

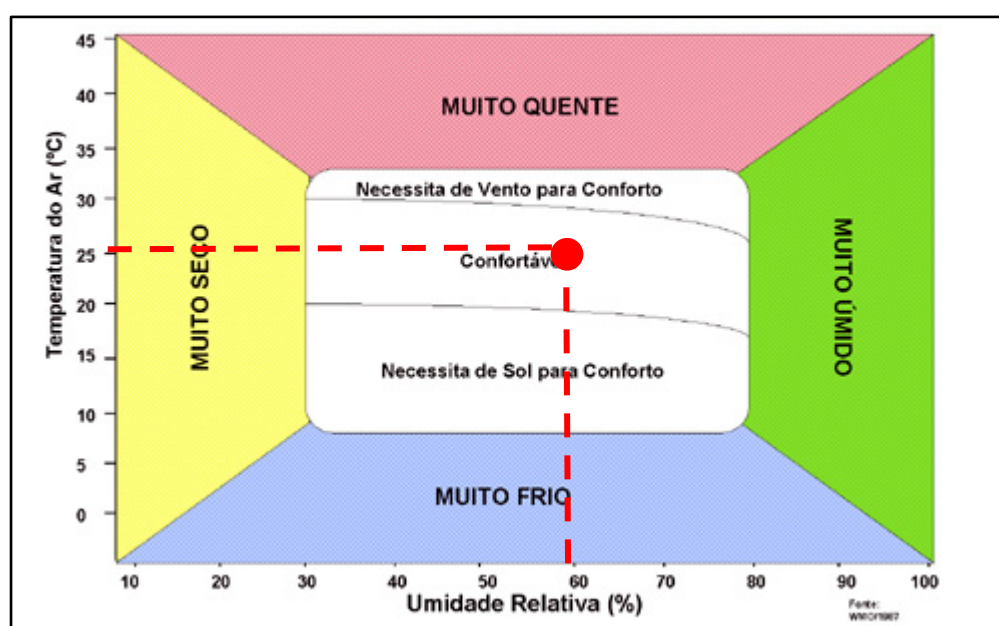


Figura 48- Diagrama de conforto humano.

Fonte: Inmet (2009) apud Souza & Nery (2012)

De acordo com o Quadro 13 apresentado, pode-se verificar que, de acordo com o Diagrama de Conforto (Figura 48) e a magnitude média dos parâmetros de temperatura e umidade, pode-se considerar a sala em estudos como confortável. No entanto, deve-se

ressaltar que este diagrama é baseado apenas nos parâmetros de temperatura e umidade, os quais, como já dito anteriormente, encontram-se dentro dos limites sugeridos pela Resolução n.176 (2000) da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. A Figura 49 apresenta a relação obtida entre os valores de temperatura e umidade obtidos.

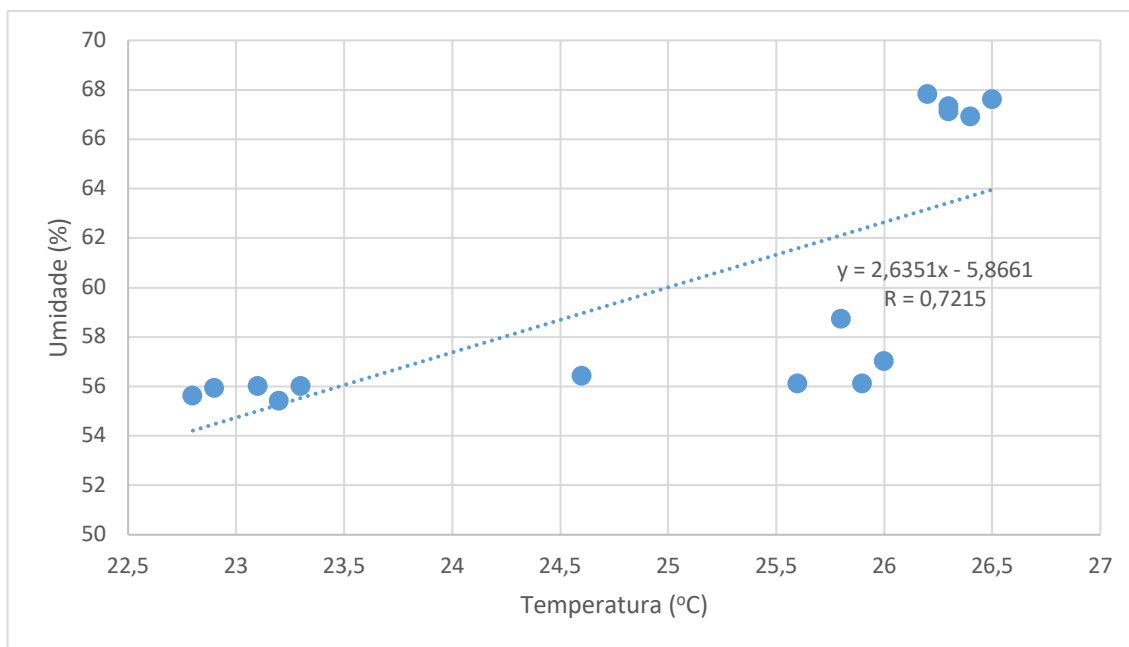


Figura 49- Relação entre umidade e temperatura.

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com a Figura 49, pode-se verificar que há uma relação de linearidade entre o incremento da temperatura com a umidade do ar. O valor de R (Pearson) obtido foi de 0,7217, indicando uma forte correlação entre as variáveis.

Dessa forma, considerando-se os parâmetros obtidos, pode-se assumir que os diferentes cenários aplicados na sala de aula proporcionaram alterações significativas no ambiente interno da mesma. O cenário 1, porta fechada e ar-condicionado ligado, foi o que apresentou os menores valores de temperatura do ar, umidade e velocidade do ar. Além disso, esse cenário apresentava as menores variações nos parâmetros medidos. O cenário 2, portas e janelas abertas, apresentou os menores níveis de CO<sub>2</sub> dentre os cenários estudados. Também foram constatadas maiores variações dos parâmetros de temperatura e umidade. O cenário 3, portas e janelas fechadas, foi caracterizado por apresentar os mais elevados níveis de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do ar.

Também se verifica, por meio dos dados obtidos, que houve pouca variação entre os valores obtidos pelas medições efetuadas em diferentes locais da sala de aula. No



entanto, todos os parâmetros medidos apresentaram, de uma forma geral, incremento com o tempo de permanência dos alunos na sala de aula, em qualquer um dos cinco pontos de medição.

Dessa forma, este item objetivou demonstrar a influência dos cenários estudados nos parâmetros mensuráveis que caracterizam o ambiente da sala de aula (umidade do ar, temperatura...). No próximo item, é realizada uma caracterização do ambiente da sala de aula por meio da percepção dos estudantes.

### 4.3 Caracterização do ambiente interno percebido pelos participantes

As Figuras 50, 51 e 52 demonstram a frequência de respostas em relação a qualidade do ar, temperatura e incômodo percebidos pelos estudantes durante a permanência destes na sala de aula nos três cenários utilizados.

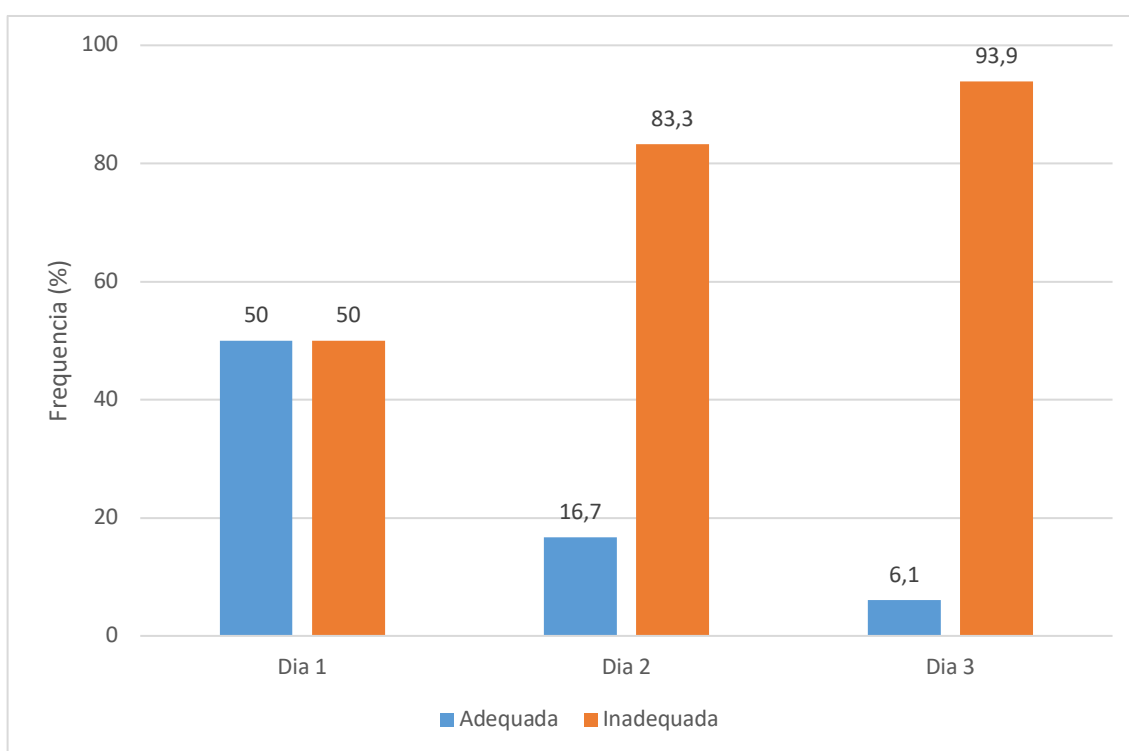


Figura 50- Qualidade de ar percebida pelos participantes durante os dias utilizados.

Fonte: Dados da pesquisa

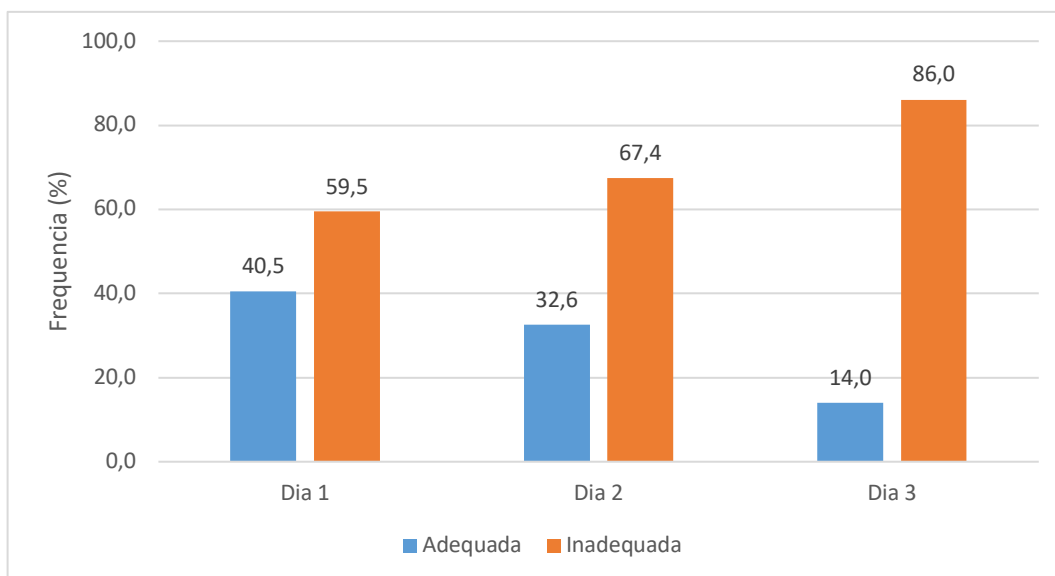


Figura 51- Temperatura interna percebida pelos participantes durante os três cenários utilizados.

Fonte: Dados da pesquisa

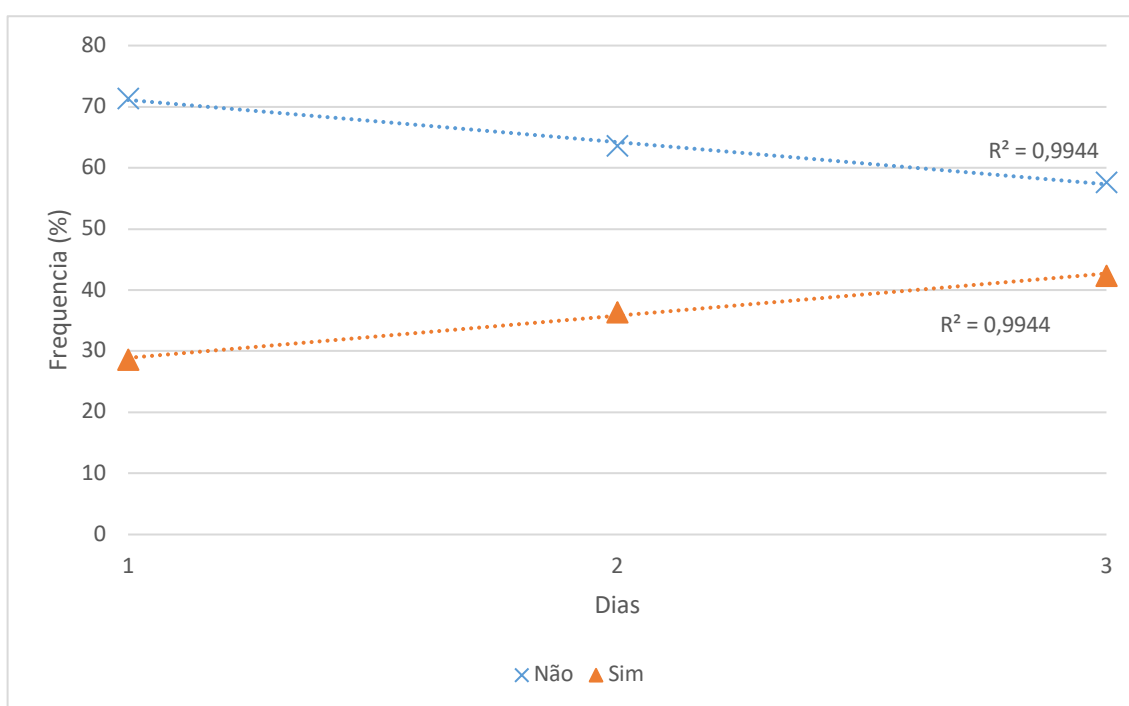


Figura 52- Incômodo em relação ao ambiente interno percebido pelos participantes durante os três cenários utilizados.

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com as Figuras 50 a 52, pode-se verificar que o ambiente percebido pela população amostral pode ser relacionado ao ambiente verificado por meio das medidas conduzidas. Em relação a qualidade percebida do ar, nota-se que o cenário 3 foi o que apresentou as piores condições, ou seja, cerca de 94% dos estudantes declararam

qualidade do ar inadequada. Tal fato também se repete em relação a temperatura percebida pelos alunos, onde 86% declararam que o cenário 3 apresentava características inadequadas. Verifica-se, também, por meio da Figura 52, a variação do incômodo declarado pelos estudantes. Percebe-se que este apresenta um crescimento linear a medida em que são alterados os cenários.

Deve-se destacar que, comparando-se os parâmetros demonstrados neste item com apresentados no anterior, se pode constatar que os alunos demonstraram maior incômodo com o cenário 3, o qual é caracterizado por ter portas e janelas fechadas. Ressalta-se que, neste cenário, foram obtidos os maiores valores de umidade do ar, temperatura e níveis de CO<sub>2</sub>. As Figuras 53, 54 e 55 demonstram a relação entre os parâmetros medidos em sala de aula e o ambiente percebido pelos alunos.

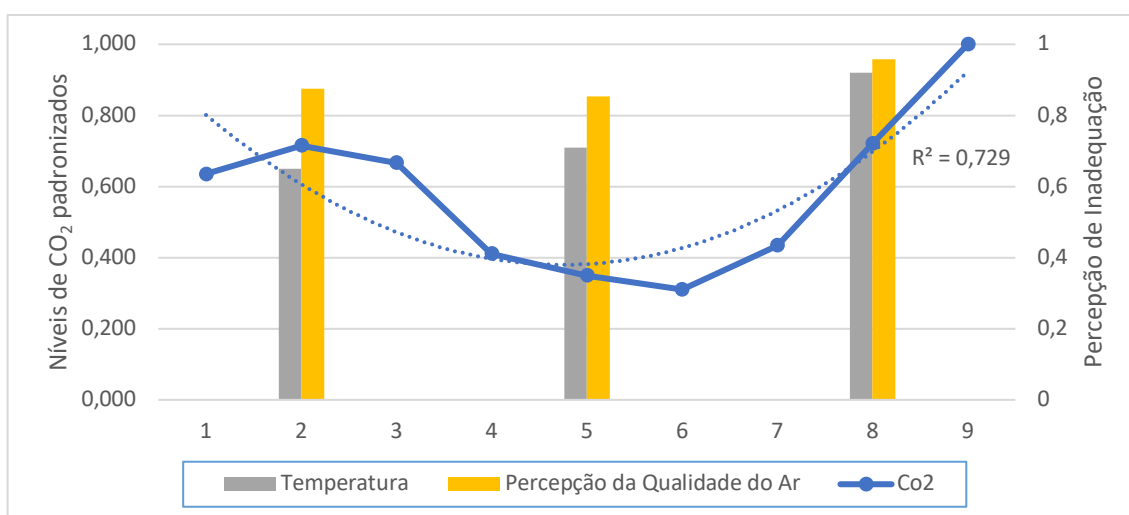


Figura 53- Relação entre a qualidade percebida do ambiente (temperatura e qualidade do ar) e o dióxido de carbono medida durante o período (medidas 1, 2 e 3 – cenário 1; medidas 4,5 e 6 – cenário 2; medidas 7,8,9-cenário 3).

Fonte: Dados da pesquisa

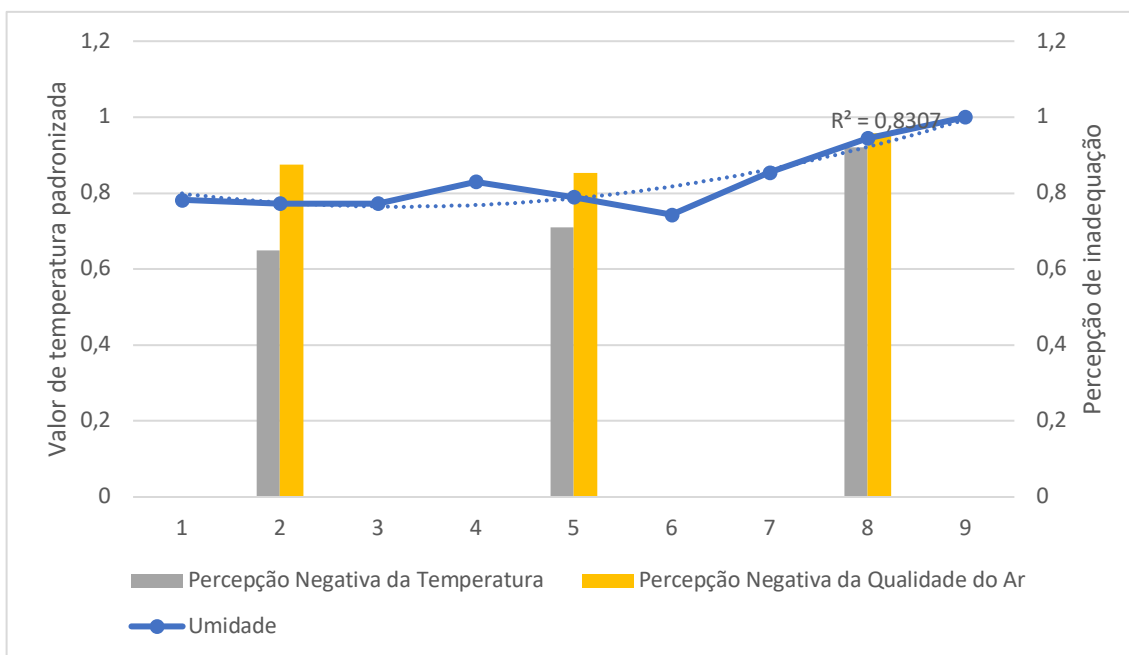


Figura 54- Relação entre a qualidade percebida do ambiente (temperatura e qualidade do ar) e umidade medida durante o período (medidas 1, 2 e 3 – cenário 1; medidas 4,5 e 6 – cenário 2; medidas 7,8,9- cenário 3).

Fonte: Dados da pesquisa

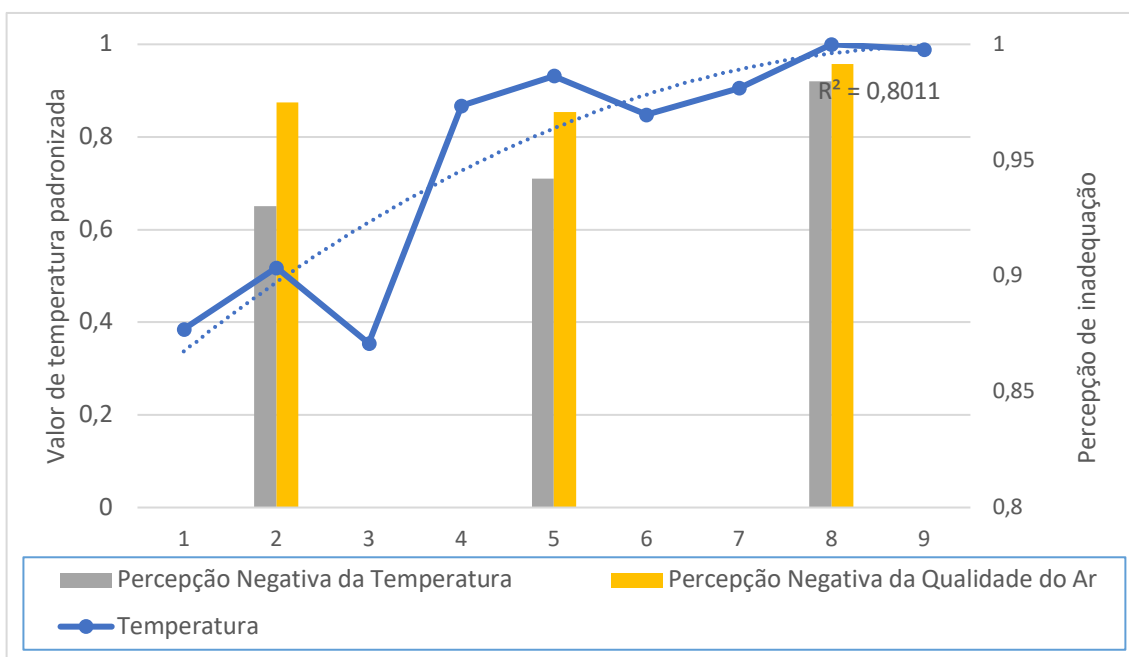


Figura 55- Relação entre a qualidade percebida do ambiente (temperatura e qualidade do ar) e a temperatura medida durante o período em estudos (medidas 1, 2 e 3 – cenário 1; medidas 4, 5 e 6 – cenário 2; medidas 7,8,9- cenário 3).

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com as figuras apresentadas, é possível observar que a percepção do ambiente pelos alunos se relacionou com os parâmetros medidos na sala de aula. De uma

forma geral, o cenário 3 foi o que apresentou a pior percepção dos alunos a respeito da qualidade do ambiental, sendo também o que apresentou os maiores valores de umidade, temperatura e concentração de dióxido de carbono. Dessa forma, pode-se verificar que o ambiente percebido pelos estudantes pode ser relacionado àquele determinado por meio das medições conduzidas.

Uma vez analisada a percepção dos estudantes em relação ao ambiente da sala de aula, o próximo item apresentará as análises que têm por objetivo verificar a relação entre este e o desempenho cognitivo dos estudantes.

#### 4.4 Desempenho cognitivo *versus* ambiente interno da sala de aula

Neste item, serão apresentados os resultados dos testes K e P aplicados em cada um dos cenários estudados, de forma a se verificar a influência do ambiente interno da sala de aula no desempenho cognitivo dos estudantes prospectados.

A Figura 56 demonstra as médias das pontuações dos testes K obtidas pelos alunos em cada um dos cenários estudados. Salienta-se que, a cada dia de estudos, foram aplicados três testes tipo K e três testes tipo P, sendo estes distintos a cada aplicação.

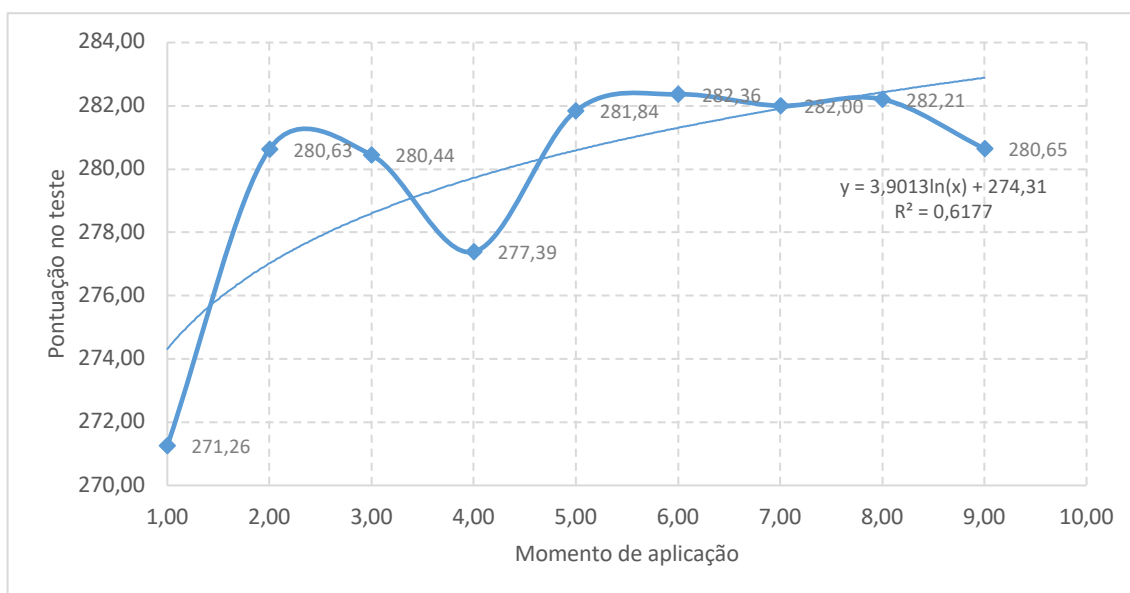


Figura 56- Variação do desempenho médio dos alunos em cada dia (Teste K).

Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se na Figura 56 que, a cada dia de aplicação do teste K, a pontuação média obtida pelos estudantes tendeu a um acréscimo, ajustando-se ao formato de uma curva logarítmica ( $R^2 = 0,6177$ ). No entanto, percebe-se, comparando-se a variação entre

as médias obtidas em cada cenário, que este incremento ocorre em magnitudes diferentes, sendo que, no cenário 3, o último valor indica uma queda em relação a média anterior. Dessa forma, para melhor verificar a variação do incremento das pontuações médias em cada um dos cenários, foram elaborados os gráficos apresentados nas Figuras 57 a 59.

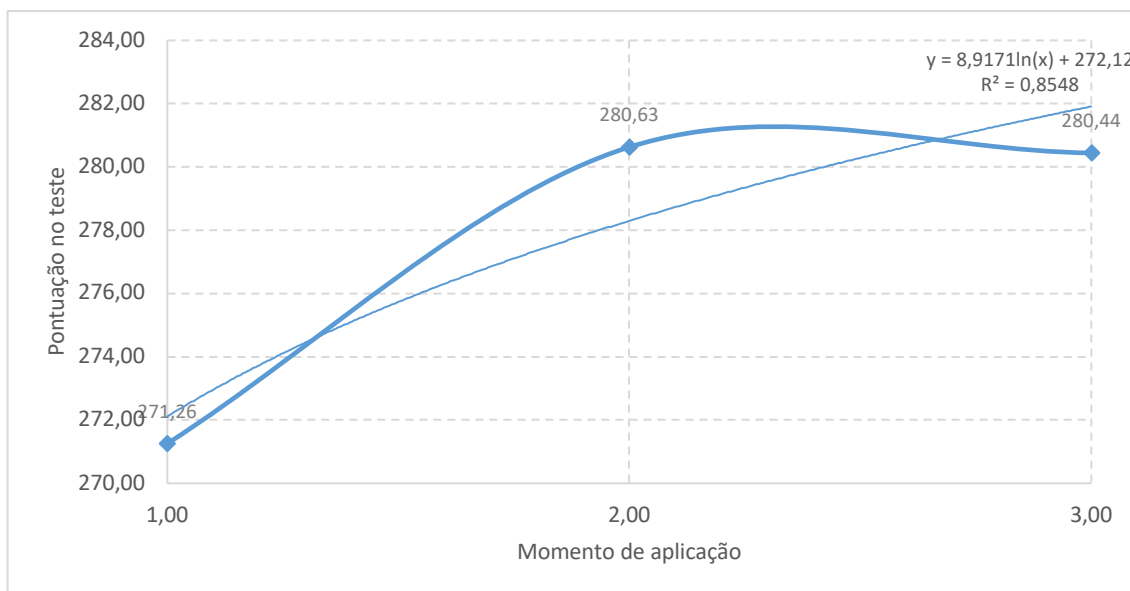


Figura 57- Variação do desempenho médio dos alunos no cenário 1 (Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas)

Fonte: Dados da pesquisa

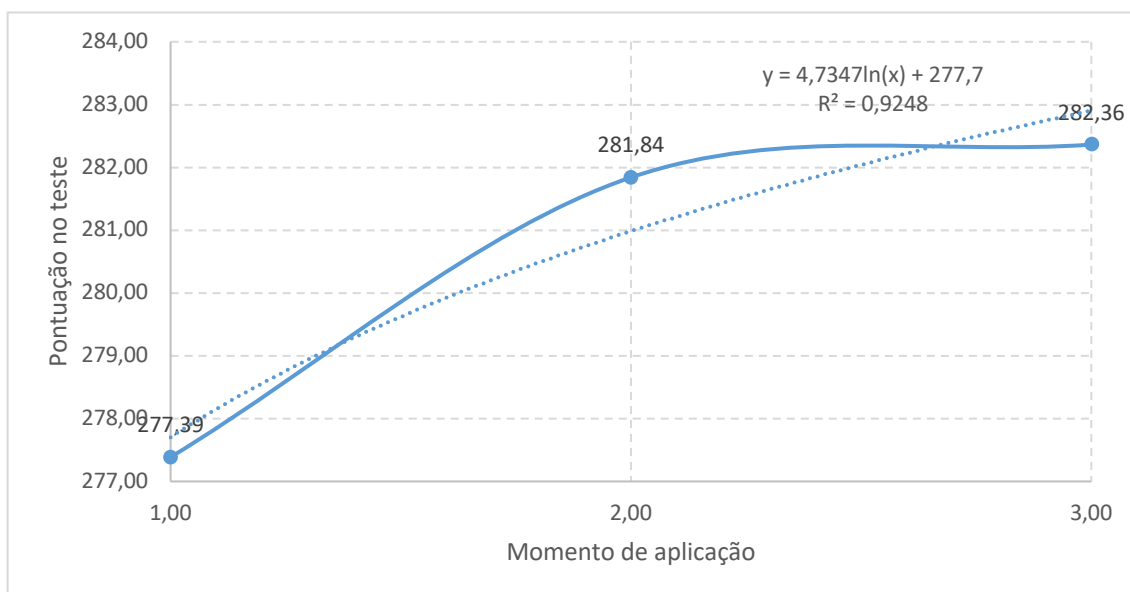


Figura 58- Variação do desempenho médio dos alunos no cenário 2 (Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas ).

Fonte: Dados da pesquisa

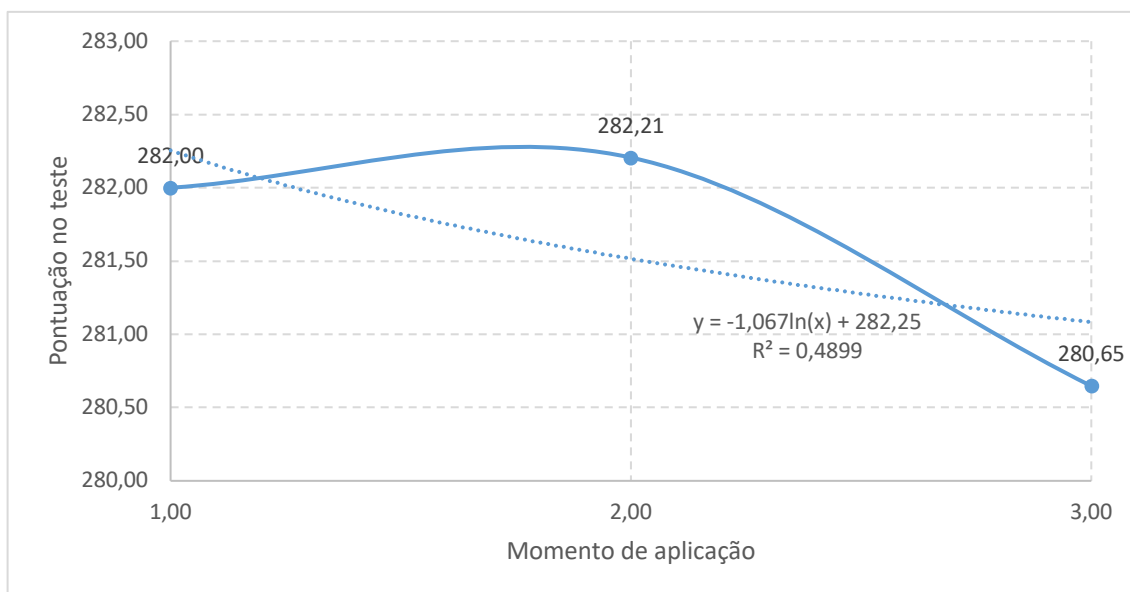


Figura 59- Variação do desempenho médio dos alunos no cenário 3 (Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas).

Fonte: Dados da pesquisa

Por meio das figuras apresentadas, constata-se que a variação das pontuações médias em cada um dos cenários estudados assumiu formato de uma curva logarítmica bem ajustada como valores de  $R^2$  variando entre 0,4899 e 0,9248. Verifica-se também que cada uma das curvas apresenta um coeficiente angular distinto, indicando que as variações nas pontuações médias ocorrem em maiores magnitudes em alguns cenários. Dessa forma, pode-se notar que o cenário 1 foi o que apresentou curva com maior coeficiente angular, ou seja, neste cenário, o desempenho verificado nos testes apresentou maior incremento em relação aos demais cenários. No cenário 2, também foi observada uma tendência de incremento no desempenho indicado pelas pontuações médias, no entanto com menor intensidade (menor magnitude de coeficiente angular em relação ao cenário 1). No cenário 3, verificou-se uma tendência no decréscimo no desempenho dos alunos, uma vez que a pontuação dos testes apresentou redução. Neste, também se verifica a tendência negativa da equação que define a curva logarítmica que representa o desempenho dos alunos neste cenário.

Portanto, pode-se assumir que durante a aplicação dos testes K constata-se um ganho geral no desempenho dos alunos, refletido pelas pontuações médias obtidas. Contudo, ao se verificar cada cenário individualmente, constata-se que este desempenho ocorreu de forma diferente em relação a cada cenário estudado. Deve-se salientar que os testes K aplicados não foram repetidos em nenhum dia de aplicação, sendo aplicados ao

todo nove testes distintos nos três dias de estudos.

A Figura 60 demonstra as médias das pontuações dos testes P obtidas pelos alunos em cada um dos cenários estudados.

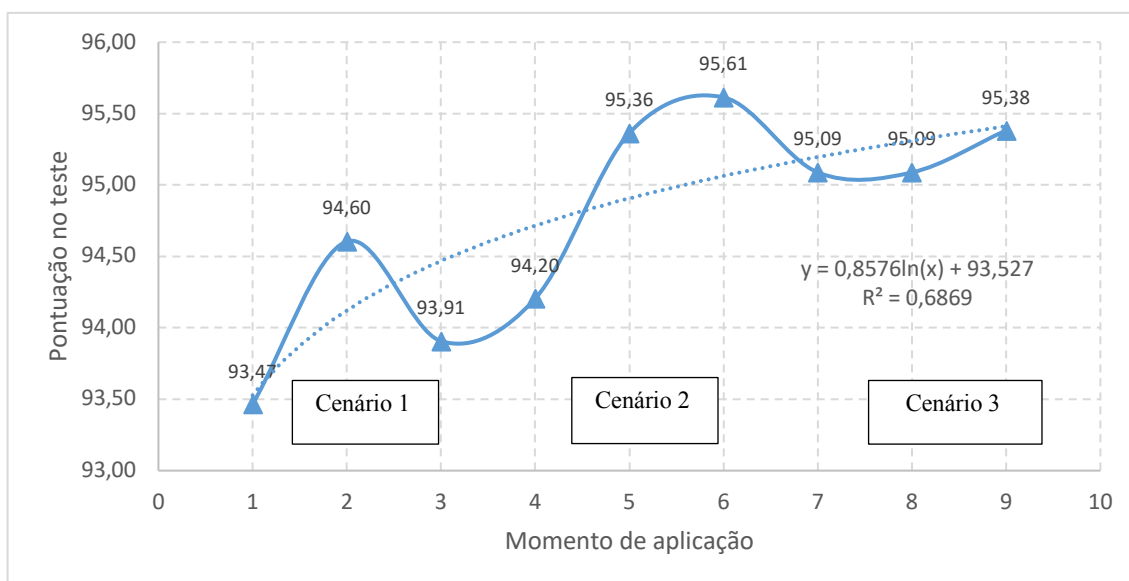


Figura 60- Variação do desempenho médio dos alunos em cada cenário estudado.

Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se, na Figura 60, que, a cada dia de aplicação do teste P, a pontuação média obtida pelos estudantes tendeu a um acréscimo, ajustando-se ao formato de uma curva de logarítmica ( $R^2 = 0,6869$ ). No entanto, da mesma forma que o observado para o teste K, percebe-se, comparando-se a variação entre as médias obtidas em cada cenário, que este incremento ocorre em magnitudes distintas. Assim, para melhor observar a variação do incremento das pontuações médias em cada um dos cenários, foram elaborados os gráficos apresentados nas Figuras 61 a 63.



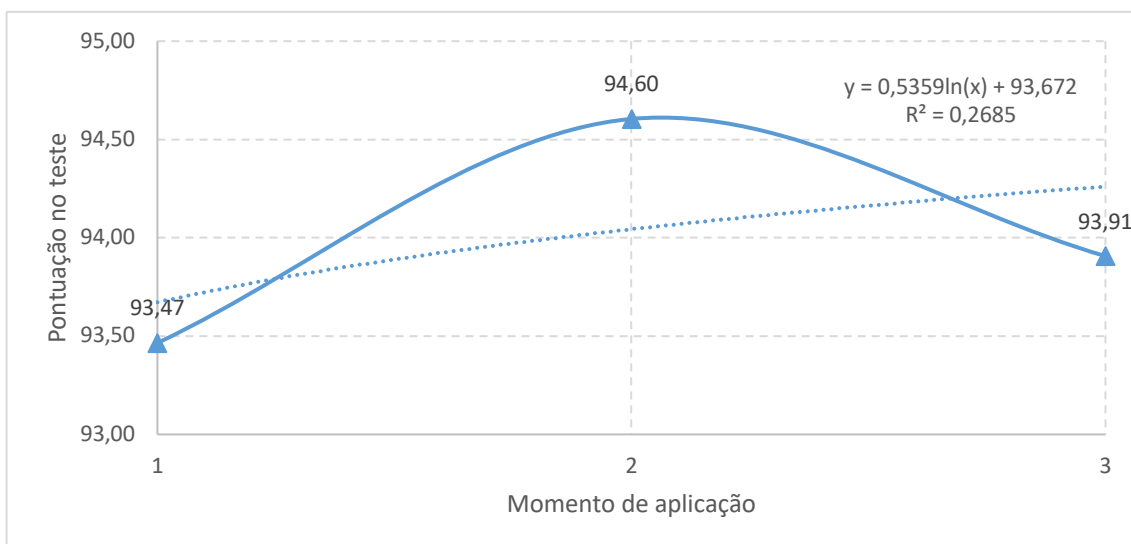


Figura 61- Variação do desempenho médio dos alunos no cenário 1 (Porta fechada com o ar-condicionado ligado na temperatura de 20°C e janelas fechadas).

Fonte: Dados da pesquisa

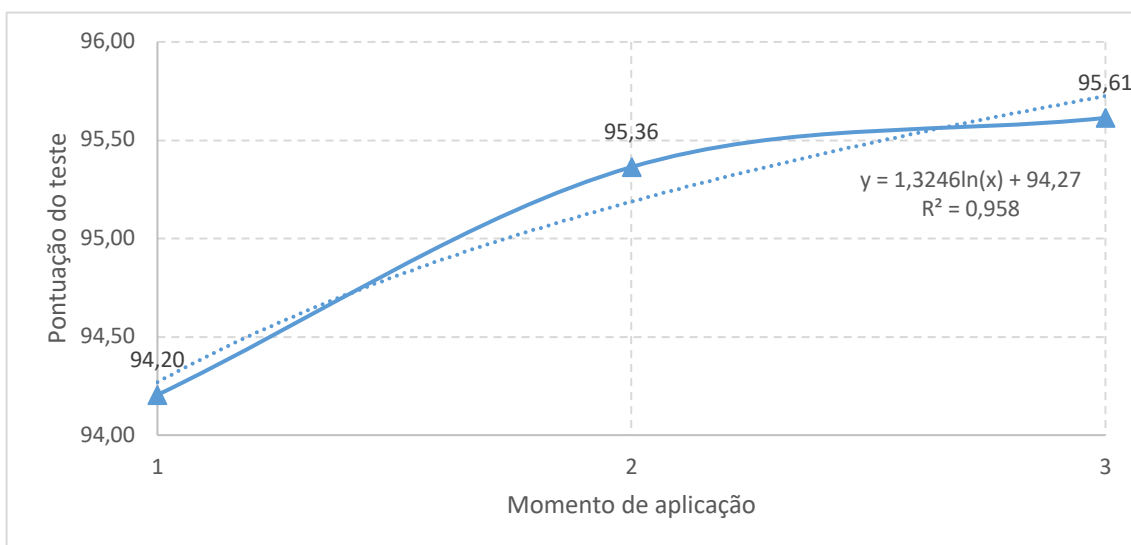


Figura 62- Variação do desempenho médio dos alunos no cenário 2 (Porta aberta, ar-condicionado desligado e janelas abertas).

Fonte: Dados da pesquisa

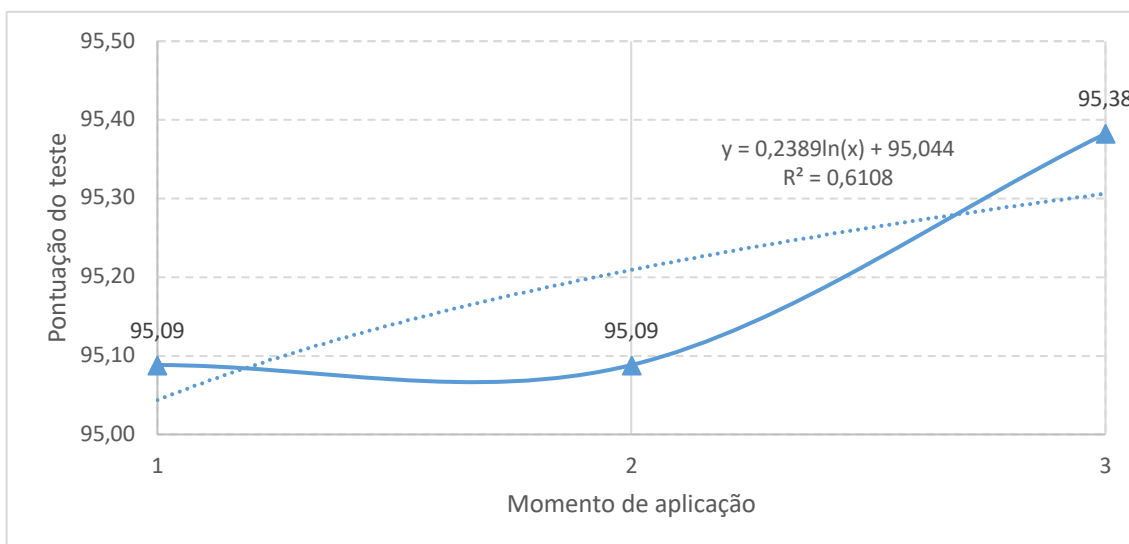


Figura 63- Variação do desempenho médio dos alunos no cenário 3 (Porta fechada, ar-condicionado desligado e janelas fechadas).

Fonte: Dados da pesquisa

Por meio das Figuras 61, 62 e 63, nota-se que a variação das pontuações médias em cada um dos cenários estudados assumiu formato de uma curva logarítmica com valores de  $R^2$  variando entre 0,2685 e 0,958. Observa-se que cada uma das curvas também demonstra coeficientes angulares distintos, tal como constatado para o teste K.

Contudo, para esta situação, foi o cenário 2 que apresentou curva com maior coeficiente angular, ou seja, neste cenário o desempenho verificado nos testes apresentou maior incremento em relação aos demais. Diferentemente ao ocorrido para o teste K, todos os cenários demonstraram incremento nas pontuações médias dos testes.

A seguir, a Figura 64 apresenta a relação entre o desempenho dos alunos nos testes aplicados (K e P) e os níveis de dióxido de carbono medidos na sala de aula.

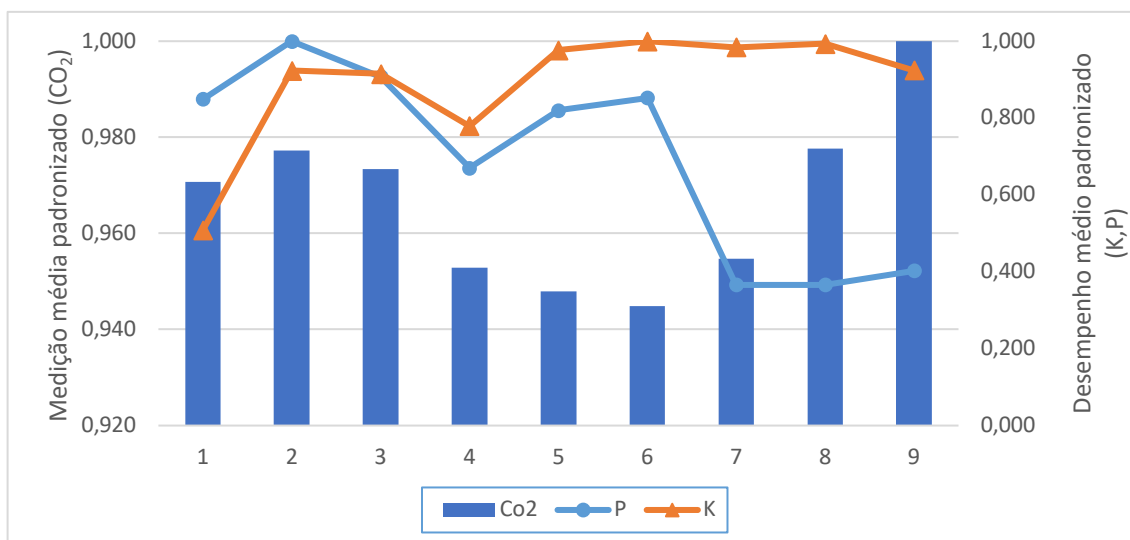


Figura 64- Relação entre o desempenho dos alunos e os valores medidos de CO<sub>2</sub> durante o período em estudos (medidas 1, 2 e 3 – cenário 1; medidas 4,5 e 6 – cenário 2; medidas 7,8,9-cenário 3).

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com a Figura 64, pode-se constatar que o desempenho dos estudantes, representado pelas médias das pontuações nos testes K e P, apresentou variação com os níveis de dióxido de carbono impostos pelos cenários estudados.

Verifica-se que até a leitura 3, referente ao primeiro cenário (ar-condicionado ligado e porta e janelas fechadas), após a medição 2 houve uma tendência de redução das pontuações médias em ambos os testes, sendo que para o teste P esta variação demonstrou-se mais acentuada. Salienta-se que este cenário apresenta o segundo maior nível médio de dióxido de carbono em dispersão na sala de aula, menores valores de temperatura do ar e umidade. Em relação ao cenário 2 (porta e janelas abertas), verifica-se, para ambos os testes, um significativo incremento nas médias das pontuações de ambos os testes, indicando melhor desempenho dos estudantes neste dia. Tal cenário é caracterizado por apresentar o menor nível de CO<sub>2</sub> médio dentre os demais estudados. Ao se observar as médias das pontuações no cenário 3, constata-se, para ambos os testes, uma tendência de redução das médias das pontuações, indicando piora no desempenho dos estudantes. Salienta-se que este cenário foi o que apresentou os maiores valores de temperatura e umidade e, ao mesmo tempo, aquele que os alunos indicaram como sendo da pior qualidade percebida do ar.

Portanto, por meio da Figura 64, identifica-se uma relação entre o desempenho dos alunos, verificado pelas médias das pontuações dos testes, e a variação das condições

do ambiente interno de sala de aula, sendo o cenário que apresentou menores concentrações de níveis de dióxido de carbono o que demonstrou melhor desempenho dos estudantes.

## 5. CONCLUSÕES

O principal objetivo desta pesquisa foi verificar a influência das condições ambientais internas de uma sala de aula sobre o desempenho cognitivo de estudantes. Assim, foi elaborado um experimento que utilizou uma sala de aula em 3 diferentes cenários.

Após a medição dos parâmetros ambientais internos, medição da percepção dos participantes em relação ao ambiente e execução dos testes de desempenho cognitivo, conclui-se que:

Em relação a sala de aula:

- (a) A disposição da sala de aula, ou qualquer outro ambiente no qual a amostra esteja inserida, influencia fortemente os parâmetros ambientais internos;
- (b) As condições ambientais internas do local onde o aluno senta são iguais na sala de aula inteira, com apenas duas exceções; a primeira é se porta estiver aberta, neste caso as carteiras localizadas perto da porta podem ter uma temperatura de até 1° Celsius mais baixa que o restante da sala; a segunda é se o ar-condicionado estiver ligado, pois o ar frio se dirige para o fundo da sala, portanto a temperatura no fundo da sala será menor. Mas, em qualquer caso a taxa de CO<sub>2</sub> é a mesma, ou seja, o CO<sub>2</sub> afeta de maneira igual a todos.
- (c) A ventilação cruzada é fundamental para a melhora das condições ambientais internas, assim, este trabalho recomenda o uso de janelas nas salas de aula para melhorar a taxa de ventilação;
- (d) Existe uma correlação positiva significativa entre temperatura, umidade, ou seja, na maioria dos casos, quando um coeficiente aumenta o outro também aumenta.

Nesta pesquisa foi constatado que a qualidade dos ambientes internos afeta as salas de aula de instituições de ensino e é fundamental que as condições sejam consideradas mais vigorosamente por arquitetos e projetistas, a mesma afirmação foi realizada por Jurado et al. (2009).

De acordo com Correia (2010), as variáveis que influenciam o desempenho cognitivo são divididas em 3, tanto objetivas como subjetivas, sendo elas físico-

ambientais, individuais e sociais. Portanto, em relação a influência das condições ambientais internas sobre o desempenho cognitivo, conclui-se que:

- (a) Em ambos testes, K e P, foi constatado uma curva de desempenho positiva, porém nos dias nos quais as condições ambientais internas se encontravam boas, os coeficientes angulares sofreram uma variação diferente.
- (b) Nos dias em que as condições ambientais internas estavam melhores, os coeficientes angulares de desempenho cognitivo foram maiores demonstrando a influência do ambiente sobre a performance.

Esta pesquisa corrobora com a visão de Almeida e De Freitas (2014), Sarbu e Pacurar (2015), que afirmam que a qualidade ambiental e desconforto térmico diminuem a performance de estudantes.

Sobre a questão de pesquisa, pode-se afirmar que o desempenho cognitivo e as condições da sala de aula são influenciados pela temperatura, umidade e níveis de CO<sub>2</sub> de maneira individual em cada participante, porém, de modo geral, a performance de todos sofreu influência das condições ambientais internas.

O trabalho demonstrou resultados satisfatórios e significativos estatisticamente, corroborando com o referencial teórico. Esta pesquisa pode contribuir para instituições de ensino superior, proporcionando uma visão e entendimento melhor sobre a influência das suas salas de aula no desempenho cognitivo de seus estudantes, demonstrando a importância de um bom planejamento arquitetônico para otimizar as condições ambientais internas das salas de aula.

Ainda, a pesquisa contribui com a prática profissional da educação, pois auxilia a compreensão de importantes temas por professores e profissionais envolvidos com a área educacional. Tais temas possuem grande influência tanto no cotidiano educacional quanto no profissional, logo novas ideias de mercado e tecnologia podem surgir para auxiliar e melhorar a qualidade dos fatores ambientais internos, assim como mudanças das próprias instituições de ensino.

As limitações desta pesquisa referem-se ao tamanho da amostra, que, apesar de todo os esforços, contou-se com cerca de 50 participantes. Além disso, entende-se necessário que outras pesquisas sejam realizadas para se poder avaliar melhor a

correlação entre as variáveis subjetivas e objetivas que influenciam o desempenho cognitivo.

Como sugestões para trabalhos futuros:

- (a) Utilizar equipamentos automáticos que medem e armazenam de maneira contínua as variáveis medidas nesta pesquisa;
- (b) Montar um questionário de percepção ambiental com grande variação de escala para possibilitar a realização de regressões lineares simples ou múltiplas, e;
- (c) A criação de cenários múltiplos para mais variação das variáveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, R. M. S. F., & De Freitas, V. P. (2014). Indoor environmental quality of classrooms in Southern European climate. *Energy and Buildings*, 81, 127–140.

Antunes, H. K., Santos, R. F., Cassilhas, R., Santos, R. V. T., Bueno, F. A., & Mello, M. T. (2006). Exercício físico e função cognitiva: uma revisão. *Revista Bras Med Esporte*, 12(2), 108/114.

Azevedo, G. A. N. (2002). *Arquitetura escolar e educação: um modelo conceitual de abordagem interacionista*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

(Essa referência não foi localizada no texto, favor verificar se ela deve ser mantida ou não. Caso seja mantida, favor inserir citação no texto.)Barros, C. S. (1998). *Pontos de psicologia escolar*. São Paulo: Ática.

Batiz, E. C., Goedert, J., Morsch, J. J., & Venske, R. (2009). *Produção. Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória*, 19(3), 477–488.

Bernardi, N., & Kowaltowski, D. (2001). Avaliação da interferência comportamental do usuário para a melhoria do conforto ambiental em espaços escolares: estudo de caso em campinas - SP. Apresentado em *Encontro Nacional, 6 e Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído*, 3, São Pedro, SP.

Carvalho, T. C. P. (2008). *Arquitetura escolar inclusiva: construindo espaços para educação infantil*. Universidade de São Paulo, São Carlos.

Cha, S. H., & Kim, T. W. (2015). What matters for students' use of physical library space? *Journal of Academic Librarianship*, 41(3), 274–279.

Código de Obras do Município de São Paulo, Lei Municipal n. ° 11.228 de 1992.

Correia, L. de A. (2010). *Conforto ambiental e suas relações subjetivas - Análise ambiental integrada na habitação de interesse social*. Universidade de Brasília, Brasília - DF.

Cortez, R. V. de M., & Faria, M. A. (2011). Distúrbios de aprendizagem e os desafios da educação escolar. *Revista Eletrônica Saberes da Educação*, 2(1).

Dalvite, B., Oliveira, D., Nunes, G., Perius, M., & Sherer, M. J. (2007). Análise do conforto acústico, térmico e lumínico em escolas da rede pública de santa maria, RS. *Disc. Scientia. Série: Artes, Letras e Comunicação, S. Maria.*, 8(1), 1–13.

Diaz, F. (2011). *Os processos de aprendizagem e seus transtornos*. Bahia: Editora da Universidade da Bahia.

(Essa referência não consta no texto. Favor verificar se deve ser mantida ou não. Caso seja mantida, favor inserir no texto) Eric, S. (2005). *Getting results: developing safe and healthy kids. student health, supportive schools and academic success*. Sacramento, Estado Unidos: California Department of Education.



Estrela, J. B. C., & Ribeiro, J. dos S. F. (2012). Análise das relações entre memória e aprendizagem na construção do saber. *Caderno Intersaberes*, 1(1), 140–159.

Ferraz, A. P. do C. M., & Belhot, R. V. (2010). Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. *Gestão e Produção*, 17(2), 421–431.

Fonseca, I. C. L., Almeida, C. C. da R., Lomardo, L. L. B., & Mello, E. N. (2010). Avaliações de conforto ambiental e eficiência energética do projeto do prédio do Centro de Informações do Cresesb, no Rio de Janeiro. *Ambiente Construído*, 10(2), 41–58.

Frاندoloso, M. A. L. (2001). *Crítérios de Projeto para Escolas Fundamentais Bioclimáticas*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RG.

Freitas, R. M., & Azerêdo, J. de F. (2013). A disciplina conforto ambiental: uma ferramenta prática na concepção de projetos de arquitetura, de urbanismo e de paisagismo. *Cadernos Proarq*, 20, 95–113.

(Essa referência não consta no texto. Favor verificar se deve ser mantida ou não. Caso seja mantida, favor inserir no texto)

Filho, I. A. T. V., Ponce, R. de F., & Almeida, S. H. V. (2009). As compreensões do humano para Skinner, Piaget, Vygotsky e Wallon: pequena introdução às teorias e suas importâncias na escola. *Psicologia da Educação*, 29(2 Semestre), 27–55.

Gabrielli, A. L. A. N. (2014). Isolamento térmico e conforto ambiental em edifícios residenciais na Região Sudeste do Brasil. Apresentado em Conic - Semesp - *Congresso Nacional de Iniciação Científica*, 14, São Paulo.

Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (6th ed.). São Paulo: Atlas.

(Essa referência não consta no texto. Favor verificar se deve ser mantida ou não. Caso seja mantida, favor inserir no texto)

Godoi, G. (2010). *Conforto térmico nas edificações escolares públicas: análise da implantação do projeto padrão 023 da rede pública de ensino do estado do Paraná*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Haverinen-Shaughnessy, U., Shaughnessy, R. J., Cole, E. C., Toyinbo, O., & Moschandreas, D. J. (2015). An assessment of indoor environmental quality in schools and its association with health and performance. *Building and Environment*, 93(P1), 35–40.

(Essa referência não consta no texto. Favor verificar se deve ser mantida ou não. Caso seja mantida, favor inserir no texto)

Hoy, W. K., Miskel, C. G., & Tarter, C. J. (2015). *Administração educacional: teoria, pesquisa e prática* (9th ed.). Porto Alegre, RG: Amgh Editora Ltda.

Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet (2009). *Conforto térmico humano*. Recuperado em 10 jul.2009, de: [http://www.inmet.gov.br/html/clima/conforto\\_term/index.html](http://www.inmet.gov.br/html/clima/conforto_term/index.html).

- Júnior, E. G. da S., Nunes, R. P., Santos, K. de L., Medeiros, A. L., & Eulálio, M. do C. (2014). Influência da escolaridade no desempenho cognitivo de idosos. *Cintedi - Congresso internacional de educação e inclusão*, Universidade Estadual da Paraíba.
- Jurado, S., Julião, M.-D.-C., Freitas, M.-A., Barros, W., & Frota, O. (2009). Indoor air quality in Brazilian universities. Apresentado em 9th International Conference and Exhibition - Healthy Buildings 2009, HB 2009.
- Jurado, S. R., Bankoff, A. D. P., & Sanchez, A. (2014). Indoor air quality in Brazilian universities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(7), 7081–7093.
- Korir, D. K., & Kipkemboi, F. (2014). The impact of school's environment and peer influences on students' academic performance on Vihiga County, Kenya. *International Journal of Humanities and Social Science*, 4(5), 240–251.
- Lee, M. C., Mui, K. W., Wong, L. T., Chan, W. Y., Lee, E. W. M., & Cheung, C. T. (2012). Student learning performance and indoor environmental quality (IEQ) in air-conditioned university teaching rooms. *Building and Environment*, 49(1), 238–244.
- Leite, B. C. C. (2003). *Sistema de ar condicionado com insuflamento pelo piso em ambientes de escritórios: avaliação do conforto térmico e condições de operação*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Lent, R. (2005). *Cem bilhões de neurônios - Conceitos fundamentais da neurociência*. São Paulo: Athneu.
- Luz, M. de L. S., Mazia, C. R. de O., Kachba, Y. R., & Okoshi, C. Y. (2005). A influência da estrutura e ambientes ergonômicos no desempenho educacional. Apresentado em Simpep, Bauru, São Paulo, 8.
- Martins, G. de A., & Theóphilo, C. R. (2009). *Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas* (2nd ed.). São Paulo: Atlas.
- Melikov, A. K., & Kaczmarczyk, J. (2012). Air movement and perceived air quality. *Building and Environment*, 47(1), 400–409.
- NBR Abnt16401-1/2008 – *Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 1: Projeto das Instalações*
- NBR Abnt16401-2/2008 – *Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 2: Parâmetros de Conforto Térmico*
- NBR Abnt16401-3/2008 – *Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 3: Qualidade do ar interior*
- Nogueira, M. C. de J. A., Durante, L. C., & Nogueira, J. de S. (2005). Conforto térmico na escola pública em Cuiabá-MT: estudo de caso. *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, 14, junho.
- Nogueira, M. C. de J. A., Santos, F. M. de M., Brandão, N. P., Faria, R. P., Nince, P. C. do C., Luz, V. de S., ... Nogueira, J. de S. (2008). Avaliação do conforto ambiental em

salas de aula: Estudo de caso em Cuiabá-MT. *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - Entac*, 12.

Ochoa, J. H., Araújo, D. L., & Sattler, M. Aloysio. (2012). Análise do conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. *Ambiente Construído*, 12(1), 91–114, março.

Oliveira, E. A. S. de, Xavier, A. A. de P., & Torres, F. (2013). Conforto térmico e ambientes naturalmente ventilados. In *A gestão de processos de produção e as parcerias globais para o desenvolvimento sustentável dos sistemas produtivos*. Salvador, Bahia.

Organização das Nações Unidas (ONU, 2015). *World population prospects, key findings & advance tables*. Recuperado em: 03 maio 2017, de: [https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key\\_findings\\_wpp\\_2015.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf).

Passador, C. S., & Calhado, G. C. (2012). Infraestrutura escolar, perfil socioeconômico dos alunos e qualidade da educação pública em Ribeirão Preto/SP. *Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace*.

Peres, C. M., Vieira, M. N. C., Altafim, E. R. P., Mello, M. B. de M., & Suen, K. S. (2014). Abordagens pedagógicas e sua relação com as teorias de aprendizagem. *Revista Medicina*, 47(3), 249–55.

Prass, A. R. (2012). *Teorias de aprendizagem*. ScriniaLibris.com.

Ribas, C. C. C., & Fonseca, R. C. V. da F. (2008). *Manual de metodologia Opet*. Curitiba.

Ribeiro, G. P. (2007). Conforto ambiental, sustentabilidade, tecnologia e meio ambiente: estudo de caso Hospital Sarah Kubitschek - Brasília. Apresentado em Fórum de Pesquisa FAU. Mackenzie, 3, São Paulo.

Rupp, R. F., Vásquez, N. G., & Lamberts, R. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings*, 105, 178–205.

Sarbu, I., & Pacurar, C. (2015). Experimental and numerical research to assess indoor environment quality and schoolwork performance in university classrooms. *Building and Environment*, 93(P2), 141–154.

Skinner, B. F. (1972). *Tecnologia do ensino*. (Rodolpho Azzi, Tradução). São Paulo.

Soares, J. F. (2007). Melhoria do desempenho cognitivo dos alunos do ensino fundamental. *Cadernos de Pesquisa*, 37(130), 135–160.

Souza, J. A. (2008). *Domicílios particulares improvisados - avaliação de desempenho ambiental do uso residencial do comércio local norte (CLN) do plano piloto de Brasília*. Universidade de Brasília, Brasília - DF.

Souza, D. M. (2012). O conforto térmico na perspectiva da climatologia geográfica. *Geografia (Londrina)*, 21(2), 65-83, maio/ago.

- Tanner, C. K. (2008). Explaining relationships among student outcomes and the school's physical environment. *Journal of Advanced Academics*, 19(3), 444–471.
- Tanner, C. K. (2009). Effects of school design on student outcomes. *Journal of Educational Administration*, 47(3), 381–399.
- Tavares, L. (2005). *Abordagem cognitivo-comportamental no atendimento de paciente com história de depressão e déficit em habilidades sociais*. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.
- Tibiriçá, A. L. S. (2008). *Educação e conforto térmico: questionamentos e interpretações sobre espaço escolar*. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.
- Toftum, J., Kjeldsen, B. U., Wargocki, P., Menå, H. R., Hansen, E. M. N., & Clausen, G. (2015). Association between classroom ventilation mode and learning outcome in Danish schools. *Building and Environment*, 92, 494–503.
- Toledo, J. R. T., & Pezzuto, C. C. (2011). Análise do desempenho térmico dos componentes da envoltória. Estudo de caso em edifício escolar. Apresentado em Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da PUC-Campinas , 1.
- Usaini, M. I., & Bakar, N. A. (2015). The influence of school environment on academic performance of secondary school, students in Kuala Terengganu, Malaysia (p. 252–261). Apresentado em *International Conference on Empowering Islamic Civilization in the 21st Century*, Malaysia.
- Vasconcelos, C., Praia, J. F., & Almeida, L. S. (2003). Teorias de aprendizagem e o ensino/aprendizagem das ciências: da instrução à aprendizagem. *Psicologia Escolar e Educacional*, 7(1), 11–19.
- Wargocki, P., & Wyon, D. P. (2013). Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective. *Building and Environment*, 59, 581–589.

## **APÊNDICE I – Dados Técnicos Obtidos**

Dia 1																		
	Ponto 1			Ponto 2			Ponto 3			Ponto 4			Ponto 5			Média		
Condições Climáticas	1º Medição	2º Medição	3º Medição	1º Medição	2º Medição	3º Medição	1º Medição	2º Medição	3º Medição	1º Medição	2º Medição	3º Medição	1º Medição	2º Medição	3º Medição	1º Medição	2º Medição	3º Medição
Temperatura Ambiente	23,2	23,2	23,1	23	22,9	22,6	23	23,1	23,1	23,3	23,3	23,2	23	22,9	22,7	23,1	23,08	22,94
Temperatura Globo	23,3	23,2	23,4	23,4	23,4	23,4	23,3	23,3	23,3	23,3	23,4	23,5	23,3	23,3	23,3	23,32	23,32	23,38
CO2	2469	2798	2620	2541	2822	2627	2492	2828	2619	2493	2831	2648	2510	2806	2620	2501	2817	2626,8
VA	0,03	0,06	0,03	0,03	0,07	0,06	0,35	0,15	0,16	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,098	0,07	0,068
Umidade	57,1	56	57,1	56	54,7	55,5	56,4	55,7	55,9	55,7	55,6	55,7	56,8	56,3	55,6	56,4	55,66	55,96
Dia 2																		
	Ponto 1			Ponto 2			Ponto 3			Ponto 4			Ponto 5			Média		
Condições Climáticas	1º Medição	2º Medição	3º Medição	1º Medição	2º Medição	3º Medição	1º Medição	2º Medição	3º Medição	1º Medição	2º Medição	3º Medição	1º Medição	2º Medição	3º Medição	1º Medição	2º Medição	3º Medição
Temperatura Ambiente	24,9	26,6	24,4	25,7	26	26,1	25,5	25,7	25,4	25,1	25,7	26	25,6	25,9	25,8	25,36	25,98	25,54
Temperatura Globo	25,1	25,4	25,9	25,9	25,7	25,7	25,2	25,4	25,6	24,9	25,4	25,8	25,3	25,5	25,6	25,28	25,48	25,72
CO2	1511	1318	1176	1588	1400	1312	1651	1424	1196	1639	1440	1234	1699	1302	1195	1617,6	1376,8	1222,6
VA	0,03	0,08	0,07	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,014	0,03	0,026
Umidade	59	57,2	53	59,9	56,9	54,2	59,86	55,2	53,2	61,1	58,5	56,6	58,1	56,5	53,6	59,592	56,86	54,12
Dia 3																		
	Ponto 1			Ponto 2			Ponto 3			Ponto 4			Ponto 5			Média		
Condições Climáticas	1º Medição	2º Medição	3º Medição	1º Medição	2º Medição	3º Medição	1º Medição	2º Medição	3º Medição	1º Medição	2º Medição	3º Medição	1º Medição	2º Medição	3º Medição	1º Medição	2º Medição	3º Medição
Temperatura Ambiente	25,8	26,3	26,7	26,1	26,4	26,9	25,8	26,4	26,7	25,6	26,1	26,8	25,9	26,5	26,9	25,84	26,34	26,8
Temperatura Globo	25,5	25,8	26,3	25,8	26,2	26,7	25,6	25,9	26,4	25,4	25,7	26,3	25,7	26,1	26,5	25,6	25,94	26,44
CO2	1673	2843	3920	1817	2878	4000	1710	2873	3909	1620	2763	3935	1735	2833	3939	1711	2838	3940,6
VA	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,008	0,008	0,01
Umidade	61,5	69,1	71,6	62,3	68	72,6	61,6	68,1	72,1	63	68,2	74,2	61	67,9	71,8	61,88	68,26	72,46