

Carlos Manuel Amaral Gomes

Aplicação do Método de Monte Carlo ao estudo da influência dos dados de entrada na simulação energética de edifícios escolares

Tese de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Professor Doutor Ricardo M. S. F. Almeida

Junho de 2013



RESUMO

O presente trabalho tem como principal objetivo a aplicação do método de Monte Carlo ao estudo da influência dos dados de entrada na simulação energética de edifícios escolares. Pretende-se perceber como se comporta a energia das salas de aula perante a variabilidade dos parâmetros de entrada. Para tal, foram definidos alguns dados de entrada da simulação como variáveis aleatórias com uma determinada média e desvio padrão e com distribuição normal.

As variáveis escolhidas para este caso de estudo foram a densidade de pessoas, o metabolismo, a ventilação (considerando dois cenários distintos), a iluminação e a condutibilidade térmica do reboco interior e da cobertura.

Os valores das amostras das variáveis de estudo foram obtidos aleatoriamente, através do método de Monte Carlo. Este método consiste em gerar valores aleatórios, assumindo uma determinada distribuição de probabilidade, criando vários cenários para essas variáveis. De forma a melhorar a eficiência do procedimento foi utilizado o método Hipercubo Latino.

Foram geradas amostras de 25, 50, 100, 200 e 500 valores aleatórios para todas as variáveis de estudo com o objetivo de permitir efetuar uma análise de sensibilidade relativamente à exatidão e, conseqüentemente, ao número de casos necessários em estudos desta natureza.

Depois das amostras serem geradas foram criados os respetivos ficheiros de dados e efetuadas as simulações utilizando o programa de simulação térmica e energética EnergyPlus. Todo o procedimento foi automatizado com recurso a macros programadas em Excel.

Os resultados obtidos nas várias simulações foram analisados estatisticamente e tratados segundo uma análise descritiva. Foi efetuada uma análise às necessidades energéticas das salas de aula numa base mensal e relativamente ao total anual. Verificou-se que, dos parâmetros estudados, o que mais influencia as necessidades energéticas de aquecimento das salas de aula é a ventilação, concluindo-se que existe uma forte correlação linear entre ambos os parâmetros.

ABSTRACT

The present work has as main objective, the application of the Monte Carlo method in the study of the influence of the entrance data on the energetic simulation of scholar buildings. We intent to understand how the classroom energy behaves before the variability of the entrance parameters. For this, some entrance data simulation were defined as random variables with a certain average and pattern deviation and with normal distribution.

The variables chosen for this case study were the density of people, the metabolism, the ventilation (considering two distinct scenarios), the illumination and the thermic conductivity of the interior plaster and the roof covering.

The values of the samples variables of the study were obtained randomly, through the Monte Carlo method. This method consists of generating random values, assuming a certain probabilities distribution and in creating several scenarios for those variables. To improve the efficiency of this method it was used the Hipercubo Latino method.

Samples were generated of 25, 50, 100, 200 and 500 random values for all the study variables with the main goal of allowing performing a sensibility analysis, regarding the accuracy and, consequently, the number of necessary cases in studies of this nature.

After the samples were generated, the respective data files were created and the simulations were done using the thermic and energetic simulation EnergyPlus program. All the procedure was automatized using the macros programmed in Excel.

The results obtained in the several simulations performed were statistically analysed and treated according a descriptive analysis. It was done an analysis to the monthly and total annual energetic needs of the classrooms. It was found that from the parameters studied, the one that most influences the energetic needs of heating in a classroom are the ventilation, concluding that there's a strong linear correlation between both parameters.

PALAVRAS CHAVE

Edifícios escolares
Simulação energética
Método Monte Carlo
Análise Estatística

KEY WORDS

School buildings
Energy simulation
Monte Carlo method
Statistical analysis

AGRADECIMENTOS

Começo por agradecer ao meu orientador Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida pela orientação, disponibilidade e incentivo prestado durante a realização deste trabalho.

Agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos o meu Muito Obrigado

ÍNDICE GERAL

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
PALAVRAS CHAVE	v
KEY WORDS	vii
AGRADECIMENTOS	ix
ÍNDICE GERAL	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE QUADROS	xix
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento geral	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Organização e estrutura do texto	2
2. Estado da arte.....	5
2.1 Abordagem determinística vs. Abordagem probabilística.....	5
2.2 Método de Monte Carlo	6
2.2.1 Princípio do método de Monte Carlo	6
2.2.2 Hipercubo Latino	8
2.3 Edifícios escolares	9
2.3.1 Disposições regulamentares	10
2.4 Modelo de simulação	13
2.5 Fontes de incerteza.....	15
2.6 Estudos anteriores na área da higrotérmica	16
3. Modelo e metodologia	19
3.1 Descrição sumária do edifício.....	19
3.1.1 Geometria	19
3.1.2 Elementos construtivos.....	20
3.1.3 Clima	21

3.1.4	Ganhos internos.....	22
3.1.5	Renovação do ar e sistemas de aquecimento	24
3.2	Variáveis do estudo	24
3.3	Metodologia.....	26
4.	Resultados	31
4.1	Introdução.....	31
4.2	Necessidades energéticas	31
4.2.1	Caso base.....	31
4.2.2	Energia mensal.....	33
4.2.3	Energia anual.....	50
4.3	Estudo da convergência.....	61
4.3.1	Estudo da energia mensal.....	61
4.3.2	Estudo da energia anual	64
4.4	Discussão dos resultados	67
5.	Conclusões	69
5.1	Conclusões gerais	69
5.2	Desenvolvimentos futuros.....	70
	Referências.....	71
	Anexo A - Números aleatórios obtidos para as diferentes variáveis	73
	Anexo B - Resultados das simulações da energia mensal e anual	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Esquema explicativo do método de simulação de Monte Carlo para três parâmetros de entrada e um de saída (Silva et al. , 2012)	7
Figura 1-2: Amostras aleatórias pelo método Hipercubo Latino (adaptado de Fonte, 2011)	8
Figura 1-3: Hipercubo Latino não aleatório (adaptado de Fonte, 2011)	9
Figura 1-4: Padrão de ocupação para estabelecimentos de ensino (RSECE, 2006).....	11
Figura 1-5: Horários de Iluminação para estabelecimentos de ensino (RSECE, 2006)	12
Figura 1-6: Esquema da solução simultânea de elementos no EnergyPlus	14
Figura 1-7: Fontes de incerteza na simulação térmica e energética de edifícios.....	16
Figura 3-1: Modelo tridimensional da escola	19
Figura 3-2: a) Planta do r/c; b) Planta do 1º piso.....	20
Figura 3-3: Variação das temperaturas na cidade de Coimbra.....	21
Figura 3-4: Variação da humidade relativa do ar na cidade de Coimbra	22
Figura 3-5: Esquema representativo da metodologia de estudo	26
Figura 3-6: Esquema de obtenção das várias amostras	27
Figura 4-1: Perfil de consumo da energia anual para o caso base com uma ventilação de 2 renovações horárias	32
Figura 4-2: Perfil de consumo da energia anual para o caso base com uma ventilação de 4 renovações horárias	33
Figura 4-3: Energia mensal das salas de aula no mês de janeiro para uma ventilação de 2 renovações horárias	34
Figura 4-4: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de janeiro das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	35
Figura 4-5: Energia mensal das salas de aula no mês de janeiro para uma ventilação de 2 renovações horárias	36
Figura 4-6: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de janeiro das salas de aula para uma ventilação de 4 renovações horárias.....	37
Figura 4-7: Energia mensal das salas de aula no mês de janeiro para uma ventilação de 4 renovações horárias	38
Figura 4-8: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de janeiro das salas de aula para uma ventilação de 4 renovações horárias.....	39
Figura 4-9: Energia mensal das salas de aula no mês de janeiro para uma ventilação de 4 renovações horárias	39
Figura 4-10: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de janeiro das salas de aula para uma ventilação de 4 renovações horárias.....	40
Figura 4-11: Perfil de consumo da energia anual para o caso de 25 amostras com 2 renovações horárias	41

Figura 4-12: Box-plot da energia mensal durante um ano para 25 amostras e uma ventilação de 2 renovações horárias	42
Figura 4-13: Perfil de consumo da energia anual para o caso de 500 amostras com 2 renovações horárias.....	43
Figura 4-14: Box-plot da energia mensal durante um ano para 500 amostras e uma ventilação de 2renovações horárias	44
Figura 4-15: Perfil de consumo da energia anual para o caso de 25 amostras com 4 renovações horárias.....	45
Figura 4-16: Box-plot da energia mensal durante um ano para 25 amostras e uma ventilação de 4 renovações horárias	46
Figura 4-17:Perfil de consumo da energia anual para o caso de 500 amostras com 4 renovações horárias.....	47
Figura 4-18: Box-plot da energia mensal durante um ano para 500 amostras e uma ventilação de 4 renovações horárias	48
Figura 4-19: Energia anual das salas de aula para o caso de 25 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias.....	51
Figura 4-20: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia anual das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias	52
Figura 4-21: Matriz dos diagramas de dispersão das variáveis de estudo para o caso de 25 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias	52
Figura 4-22: Energia anual das salas de aula para o caso de 500 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias.....	53
Figura 4-23: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia anual das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias	54
Figura 4-24: Matriz dos diagramas de dispersão das variáveis de estudo para o caso de 25 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias	55
Figura 4-25: Energia anual das salas de aula para o caso de 25 simulações e uma ventilação de 4 renovações horárias.....	56
Figura 4-26: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia anual das salas de aula para uma ventilação de 4 renovações horárias	57
Figura 4-27: Matriz dos diagramas de dispersão das variáveis de estudo para o caso de 25 simulações com uma ventilação de 4 renovações horárias	57
Figura 4-28: Energia anual das salas de aula para o caso de 500 simulações e uma ventilação de 4 renovações horárias	58
Figura 4-29: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia anual das salas de aula para uma ventilação de 4 renovações horárias	59
Figura 4-30: Matriz dos diagramas de dispersão das variáveis de estudo para o caso de 25 simulações com uma ventilação de 4 renovações horárias	60
Figura 4-31: Energia média nas salas de aula no mês de Janeiro para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	62

Figura 4-32: Desvio padrão da energia média anual das várias simulações para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	62
Figura 4-33: Energia média nas salas de aula no mês de Janeiro para uma ventilação de 4 renovações horárias	63
Figura 4-34: Desvio padrão da energia média anual das várias simulações para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	64
Figura 4-35: Energia média anual das salas de aula das várias simulações para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	65
Figura 4-36: Desvio padrão da energia média anual das várias simulações para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	65
Figura 4-37: Energia média anual das salas de aula dos vários casos de simulações para uma ventilação de 4 renovações horárias	66
Figura 4-38 - Desvio padrão da energia média anual das várias simulações para uma ventilação de 4 renovações horárias	66
Figura B-1: Energia mensal das salas de aula no mês de fevereiro para uma ventilação de 2 renovações horárias	101
Figura B-2: Energia mensal das salas de aula no mês de março para uma ventilação de 2 renovações horárias	101
Figura B-3: Energia mensal das salas de aula no mês de abril para uma ventilação de 2 renovações horárias	102
Figura B-4: Energia mensal das salas de aula no mês de maio para uma ventilação de 2 renovações horárias	102
Figura B-5: Energia mensal das salas de aula no mês de junho para uma ventilação de 2 renovações horárias	102
Figura B-6: Energia mensal das salas de aula no mês de julho para uma ventilação de 2 renovações horárias	103
Figura B-7: Energia mensal das salas de aula no mês de agosto para uma ventilação de 2 renovações horárias	103
Figura B-8: Energia mensal das salas de aula no mês de setembro para uma ventilação de 2 renovações horárias	103
Figura B-9: Energia mensal das salas de aula no mês de outubro para uma ventilação de 2 renovações horárias	104
Figura B-10: Energia mensal das salas de aula no mês de novembro para uma ventilação de 2 renovações horárias	104
Figura B-11: Energia mensal das salas de aula no mês de dezembro para uma ventilação de 2 renovações horárias	104
Figura B-12: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de fevereiro das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias	105
Figura B-13: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de março das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	105

Figura B-14: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de abril das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias	106
Figura B-15: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de maio das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias	106
Figura B-16: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de junho das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias	106
Figura B-17: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de junho das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias	107
Figura B-18: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de agosto das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	107
Figura B-19: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de setembro das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	107
Figura B-20: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de novembro das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias	108
Figura B-21: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de dezembro das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias	108
Figura B-22: Energia média nas salas de aula no mês de fevereiro para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	109
Figura B-23: Energia média nas salas de aula no mês de março para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	109
Figura B-24: Energia média nas salas de aula no mês de abril para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	110
Figura B-25: Energia média nas salas de aula no mês de maio para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	110
Figura B-26: Energia média nas salas de aula no mês de junho para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	110
Figura B-27: Energia média nas salas de aula no mês de julho para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	111
Figura B-28: Energia média nas salas de aula no mês de agosto para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	111
Figura B-29: Energia média nas salas de aula no mês de setembro para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	111
Figura B-30: Energia média nas salas de aula no mês de outubro para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	112
Figura B-31: Energia média nas salas de aula no mês de novembro para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	112
Figura B-32: Energia média nas salas de aula no mês de dezembro para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	112
Figura B-33: Energia anual das salas de aula para o caso de 50 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias.....	113

Figura B-34: Energia anual das salas de aula para o caso de 100 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias 113

Figura B-35: Energia anual das salas de aula para o caso de 200 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias 114

Figura B-36: Energia anual das salas de aula para o caso de 500 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias 114

Figura B-37: Energia anual das salas de aula para o caso de 50 simulações com uma ventilação de 4 renovações horárias 115

Figura B-38: Energia anual das salas de aula para o caso de 100 simulações com uma ventilação de 4 renovações horárias 115

Figura B-39: Energia anual das salas de aula para o caso de 200 simulações com uma ventilação de 4 renovações horárias 116

Figura B-40: Energia anual das salas de aula para o caso de 200 simulações com uma ventilação de 4 renovações horárias 116

Figura B-41: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de maio das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias 50..... 117

Figura B-42: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de maio das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias 100..... 117

Figura B-43: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de maio das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias 200..... 117

Figura B-44: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de maio das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias 500..... 118

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1-1: Valores típicos de densidade ocupacional para as instalações escolares	11
Quadro 1-2: Taxas de ventilação de referência prescritas nas normas internacionais e em alguns regulamentos nacionais para salas de aula (adaptado de REHVA, 2010)	12
Quadro 1-3: Exigências de temperatura e humidade relativa em salas de aula (Almeida, 2011)	13
Quadro 3-1: Elementos construtivos da envolvente exterior opaca (Almeida, 2012).....	20
Quadro 3-2 - Elementos dos vãos envidraçados (Almeida, 2011)	21
Quadro 3-3: Dados da atividade metabólica (adaptado Almeida, 2011).....	23
Quadro 3-4: Variáveis admitidas e a sua caracterização	25
Quadro 3-5 - Média e desvio padrão dos valores gerados para as variáveis de estudo.....	27
Quadro 3-6: Gráficos da distribuição das variáveis para uma amostra de 500 valores	28
Quadro 4-1: Valores da energia mensal e total anual para o caso base com uma ventilação de 2 renovações horárias	32
Quadro 4-2: Valores da energia mensal e total anual para o caso base com uma ventilação de 4 renovações horárias	33
Quadro 4-3: Análise estatística de janeiro com uma ventilação de 2 renovações horárias	34
Quadro 4-4: Análise estatística de janeiro com uma ventilação de 2 renovações horárias	36
Quadro 4-5: Análise estatística de janeiro com uma ventilação de 4 renovações horárias	38
Quadro 4-6: Análise estatística de janeiro com uma ventilação de 4 renovações horárias	40
Quadro 4-7: Valores das variáveis do outlier 20	43
Quadro 4-8: Valores das variáveis dos diferentes outliers	45
Quadro 4-9: Valores das variáveis do outlier 23	47
Quadro 4-10: Valores das variáveis dos diferentes outliers	49
Quadro 4-11: Percentagens de erro da energia média mensal para vários casos de simulação	49
Quadro 4-12: Análise estatística da energia anual para uma ventilação de 2 renovações horárias	51
Quadro 4-13: Resultados da análise de correlação (R^2)	53
Quadro 4-14: Análise estatística da energia anual para uma ventilação de 2 renovações horárias	54
Quadro 4-15: Resultados da análise de correlação (R^2)	55
Quadro 4-16: Análise estatística da energia anual para uma ventilação de 4 renovações horárias	56
Quadro 4-17: Resultados da análise de correlação (R^2)	58
Quadro 4-18: Análise estatística da energia anual para uma ventilação de 4 renovações horárias	59
Quadro 4-19: Resultados da análise de correlação (R^2)	60
Quadro 4-20: Percentagens de erro da energia média anual para vários casos de simulação ..	61

Quadro 4-21: Média e desvio padrão da energia média de janeiro para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	61
Quadro 4-22: Média e desvio padrão da energia média de janeiro para uma ventilação de 4 renovações horárias.....	63
Quadro 4-23: Média e desvio padrão dos vários casos gerados para uma ventilação de 2 renovações horárias.....	64
Quadro 4-24: Média e desvio padrão dos vários casos gerados para uma ventilação de 4 renovações horárias.....	66
Quadro A-1: Números aleatórios obtidos para uma amostra de 25 valores.....	73
Quadro A-2: Gráficos da distribuição das variáveis para uma amostra de 25 valores	74
Quadro A-3: Números aleatórios obtidos para uma amostra de 50 valores.....	75
Quadro A-4: Gráficos da distribuição das variáveis para uma amostra de 5 valores	77
Quadro A-5: Números aleatórios obtidos para uma amostra de 100 valores.....	78
Quadro A-6: Gráficos da distribuição das variáveis para uma amostra de 100 valores	81
Quadro A-7: Números aleatórios obtidos para uma amostra de 200 valores.....	82
Quadro A-8: Gráficos da distribuição das variáveis para uma amostra de 200 valores	87
Quadro A-9: Números aleatórios obtidos para uma amostra de 500 valores.....	88

1. Introdução

1.1 Enquadramento geral

O conforto térmico e a eficiência energética são atualmente uma das grandes preocupações dos projetistas na área da Engenharia Civil.

Hoje em dia as crianças passam grande parte do seu dia no interior das escolas, tornando o conforto térmico e a qualidade do ar interior nesses locais condições importantes para o seu bem-estar e para a sua saúde, reunindo as melhores condições de trabalho para um bom desempenho dos alunos.

Os edifícios escolares apresentam algumas características únicas que condicionam o seu desempenho higrotérmico, tornando-o altamente dependente de determinadas propriedades e condicionantes, nomeadamente o seu perfil de ocupação e a elevada área de envidraçados.

A simulação térmica e energética dos edifícios é, hoje em dia, considerada uma ferramenta essencial em fase de projeto, não só para edifícios novos como também para intervenções de reabilitação.

No entanto, a utilização desta ferramenta pressupõe a criação por parte do projetista de um modelo que se aproxime tanto quanto possível da realidade. Para que os resultados obtidos numa simulação térmica e energética de edifícios se aproxime o mais possível do valor real, é necessário definir os dados de entrada relativos à taxa de ocupação, metabolismo, ventilação, iluminação, horários de ocupação, entre outros. Os valores desses dados de entrada são, muitas vezes, quantificados através de normas ou regulamentos, onde se pode encontrar alguma variabilidade.

Neste trabalho pretende-se estudar a influência dos dados de entrada na simulação energética de edifícios escolares, recorrendo-se a simulações estocásticas e ao método de Monte Carlo para a geração de amostras das variáveis de estudo, assumindo-se para as mesmas uma

distribuição normal e um determinado valor do desvio padrão. Este é um método que permite estudar o efeito da variabilidade dos parâmetros no resultado final da simulação, obtendo-se uma distribuição estatística do resultado da simulação em detrimento de um único valor determinístico.

Recorreu-se ao programa EnergyPlus, na versão 7.2, como ferramenta de simulação térmica e energética. O EnergyPlus é um programa computacional que permite a simulação do comportamento térmico e energético dos edifícios, tendo em conta os registos climáticos da zona onde se encontra o edifício em estudo. É um programa muito utilizado neste tipo de trabalhos por ser uma ferramenta fiável e eficaz e estar devidamente validada.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho consiste na aplicação do método de Monte Carlo ao estudo da influência dos dados de entrada na simulação energética de edifícios escolares. Para tal foram assumidos alguns objetivos parciais:

- Resumir a informação mais atual sobre a simulação computacional de edifícios e a variabilidade dos dados de entrada;
- Identificar e reunir os dados de entrada necessários à simulação computacional de edifícios escolares;
- Compilar os limites regulamentares e normativos, nacionais e internacionais, associados a esses dados, permitindo quantificar limites de variação dos mesmos;
- Utilizar um modelo de simulação de um edifício escolar;
- Gerar uma distribuição estatística, utilizando o método de Monte Carlo, para os dados de entrada;
- Simular os cenários gerados e avaliar os resultados obtidos.

1.3 Organização e estrutura do texto

Este trabalho está dividido em 5 capítulos distintos:

- Capítulo 1 apresenta o trabalho desenvolvido, mostrando o seu enquadramento geral e apresenta os objetivos a alcançar;
- Capítulo 2 corresponde a um resumo dos conhecimentos mais atuais no domínio específico deste trabalho. Começa por explicar como podem ser abordados estes problemas no domínio da simulação térmica e energética. Explica-se o princípio do método do Monte Carlo, assim como o método utilizado para a geração dos números aleatórios, o Hipercubo Latino. Abordam-se os edifícios escolares e faz-se referência a algumas disposições regulamentares impostas a este tipo de edifícios. Por fim inclui-se uma descrição geral do algoritmo do EnergyPlus, programa de simulação escolhido para este trabalho;

- Capítulo 3 está dividido em duas partes, uma onde é descrito o modelo de estudo utilizado nas simulações e são apresentados os valores definidos para as variáveis em análise. Na outra parte é explicada a metodologia que foi utilizada neste trabalho.
- Capítulo 4 mostra os resultados obtidos nas simulações executadas. Foi realizada uma análise da energia mensal e anual das salas de aula para os casos de simulação com uma ventilação de 2 e 4 renovações horárias; foi ainda desenvolvido um estudo da convergência da média e do desvio padrão, de cada caso de estudo, em relação ao caso base;
- Capítulo 5 contém as principais conclusões e perspectiva o desenvolvimento de trabalhos a realizar no futuro nesta área.

2. Estado da arte

2.1 Abordagem determinística vs. Abordagem probabilística

No domínio da simulação térmica e energética de edifícios, tal como em outras áreas de conhecimento, o estudo de problemas é cada vez mais específico. Esses problemas podem ser abordados através de processos determinísticos ou probabilísticos.

A simulação térmica e energética de edifícios tradicional envolve a definição de parâmetros de entrada que são processados internamente através de modelos matemáticos assentes em dadas hipóteses e que produzem resultados determinísticos. Desta forma, estes modelos computacionais, ao contrário dos processos experimentais, são determinísticos, no sentido em que simulações repetidas para o mesmo conjunto de valores dos parâmetros de entrada produzirão sempre o mesmo resultado.

Esta forma de análise, embora relativamente simples de aplicar, não reflete a natureza variável de muitos dos dados de entrada, podendo conduzir a resultados que por vezes se afastam significativamente da realidade. Portanto, se o objetivo for avaliar a incerteza e a variabilidade dos resultados das simulações, causada pela incerteza dos valores assumidos para os parâmetros de entrada, podem ser realizadas análises estocásticas utilizando os modelos determinísticos.

Nos processos estocásticos está sempre associada uma incerteza, ou seja, não se assume que determinado acontecimento é quantificado com total precisão por um único valor numérico, podendo incluir-se o efeito da variabilidade na análise do caso em estudo

Quando a incerteza dos parâmetros de entrada for caracterizada por determinadas distribuições de probabilidade, então a resposta do sistema será representada também por um conjunto de valores que seguem uma dada distribuição de probabilidade, o que permite, em

caso de distribuição normal, a determinação de intervalos de confiança que quantificam a incerteza dos resultados (Silva et al., 2012).

Um procedimento habitualmente utilizado na análise estocástica é o método de Monte Carlo, que pode ser descrito como um método estocástico onde se utiliza uma sequência de números aleatórios para a realização de uma determinada simulação (Veiga, 2008).

A abordagem probabilística permite a realização de repetidas simulações, variando os valores das variáveis aleatórias (parâmetros de entrada), gerados a partir das respectivas distribuições de probabilidade, obtendo assim a distribuição estatística da resposta.

Neste trabalho optou-se por uma abordagem probabilística, visto que, ao serem analisadas as várias normas e regulamentos, nacionais e internacionais, verificou-se que existe alguma variabilidade dos valores dos parâmetros analisados entre os diferentes documentos consultados.

2.2 Método de Monte Carlo

2.2.1 Princípio do método de Monte Carlo

As técnicas de simulação mais utilizadas na análise da incerteza baseiam-se no método de Monte Carlo. Esta metodologia permite estudar o efeito da variabilidade de determinados parâmetros e tem ganho alguma importância em certas áreas da Engenharia Civil.

O método de Monte Carlo é um processo de simulação que requer grandes recursos computacionais, nomeadamente quando aplicado ao cálculo térmico e energético de edifícios, sendo, por isso, necessário aplicar técnicas de redução de variância para facilitar a sua implementação em termos informáticos. A introdução destes dados e técnicas são, por vezes, demasiado demoradas, apresentando-se como uma das principais dificuldades na aplicação do método (Veiga, 2008).

A filosofia do método consiste em gerar valores aleatórios, assumindo uma determinada distribuição de probabilidade, tendo como objetivo criar vários cenários possíveis para essa mesma variável.

É necessário perceber o funcionamento do método de Monte Carlo, compreendendo as suas limitações, para que as simulações realizadas conduzam a bons resultados. O método de simulação de Monte Carlo utiliza uma sequência de números aleatórios obtidos a partir das variáveis iniciais das quais se conhecem, ou se assumem, as respectivas distribuições de probabilidade. Assim, para cada parâmetro de entrada do modelo em estudo (X_1, X_2, \dots, X_i) é gerado um conjunto de N valores aleatórios que obedecem às distribuições de probabilidades admitidas inicialmente, sendo assim obtidas respostas Y por simulação do sistema para os N conjuntos de parâmetros de entrada. Obtém-se, portanto, para cada parâmetro de saída uma série de resultados (Y_1, Y_2, \dots, Y_N) que constituem a amostra de dimensão N da função resposta Y , cuja distribuição de probabilidade pode ser avaliada (Silva et al., 2012). A Figura

2-1 representa esquematicamente o princípio enunciado aplicado a um exemplo de três parâmetros de entrada e uma resposta.

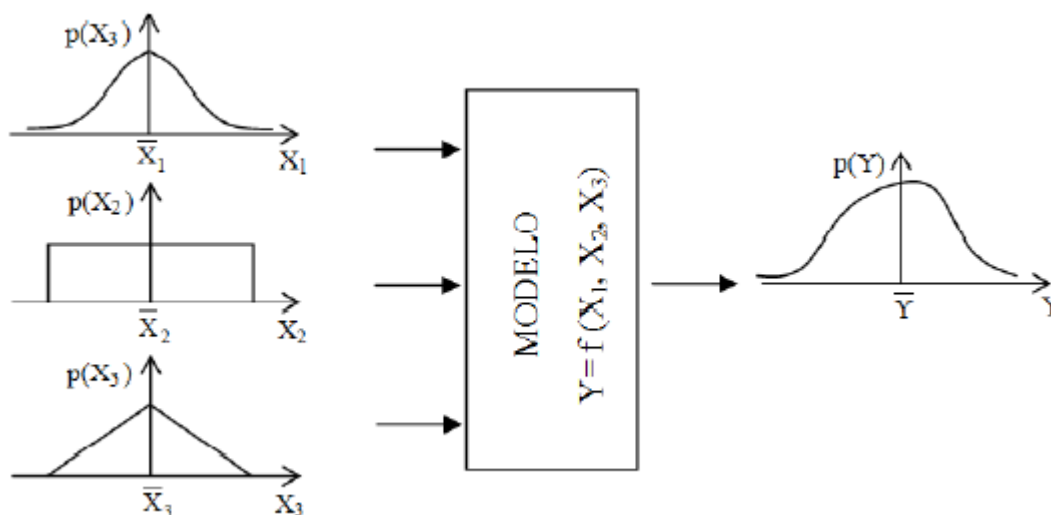


Figura 1-1: Esquema explicativo do método de simulação de Monte Carlo para três parâmetros de entrada e um de saída (Silva et al. , 2012)

A grande vantagem da simulação através do método de Monte Carlo é permitir determinar o comportamento estocástico da resposta Y do sistema, nomeadamente a determinação da sua média e desvio padrão. Refira-se que quaisquer que sejam as distribuições dos parâmetros de entrada é de esperar que para um elevado número de simulações a resposta apresente uma distribuição normal (Silva et al, 2012).

A exatidão dos resultados do método de Monte Carlo depende do número de simulações que forem realizadas, por isso à medida que o número de simulações for aumentando a probabilidade obtida pelo método fica cada vez mais próximo do valor exato.

Tendo em conta trabalhos anteriormente realizados não é consensual a escolha do número mínimo de simulações necessárias para avaliar a incerteza. Assim, Macdonald (2009) realizou uma análise ao método Hipercubo Latino com uma amostragem simples, aleatória e estratificada quando este é utilizado num problema típico de construção. Para esse estudo utilizou 100 simulações. No estudo da incorporação da incerteza na análise do desempenho térmico dos edifícios realizado por Silva et al (2012) também foram utilizadas 100 simulações para analisar três parâmetros que influenciam o desempenho térmico de uma fração: as características térmicas da envolvente opaca, a taxa horária de renovação do ar interior e os ganhos internos relativos à ocupação e equipamentos. Por sua vez Holfe et al (2010) utilizou 200 simulações no estudo em que pretendia analisar a influência da incerteza de alguns parâmetros (propriedade dos materiais, geometria do edifício, ganhos internos, infiltrações e troca de vidros simples para duplos) no desempenho térmico em escritórios.

As simulações estocásticas através do método de Monte Carlo oferecem algumas vantagens, nomeadamente (Souza, 2006):

- O computador realiza todo trabalho de geração dos valores aleatórios;
- O nível de precisão da simulação pode ser melhorado através de um simples aumento do número de casos;
- A validade da teoria do método de Monte Carlo é amplamente reconhecida, o que permite que os seus resultados sejam facilmente aceites.

2.2.2 Hipercubo Latino

Tal como foi referido anteriormente, uma solução para melhorar os resultados das simulações efetuadas através do método de Monte Carlo é aumentar-se o número de simulações. Contudo, esta não é certamente a única e pode não ser em todas as circunstâncias a melhor solução. Outras ferramentas podem ser aplicadas com o objetivo de melhorar a eficiência do método, nomeadamente através da redução da variância. Uma dessas técnicas é o método Hipercubo Latino que pode ser aplicado na geração dos casos aleatórios dos dados de entrada. O método Hipercubo Latino é uma técnica de amostragem estratificada que pode ser aplicado em várias dimensões. Este método é reconhecido como bastante preciso para a reprodução das distribuições de probabilidade escolhidas para as variáveis de entrada, tendo sido utilizado de uma forma consistente por vários investigadores (Fonte, 2011).

Esta metodologia seleciona os valores aleatoriamente de forma dependente, dividindo a distribuição em intervalos com a mesma probabilidade de sorteio e depois é selecionado um valor de cada intervalo (Fonte, 2011). A Figura 2-2 apresenta uma aplicação simples do método, num cenário de duas variáveis e sete casos.

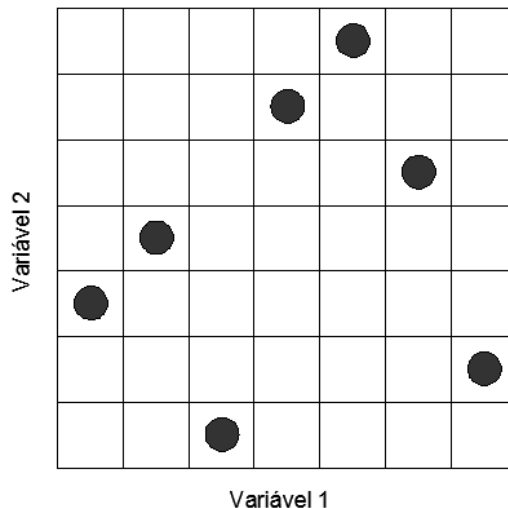


Figura 1-2: Amostras aleatórias pelo método Hipercubo Latino (adaptado de Fonte, 2011)

Para obter os resultados desejados por aplicação do Hipercubo Latino é necessário garantir a aleatoriedade dos casos, evitando, por exemplo, que ocorram situações como a que se verifica na Figura 2-3 (Fonte, 2011).

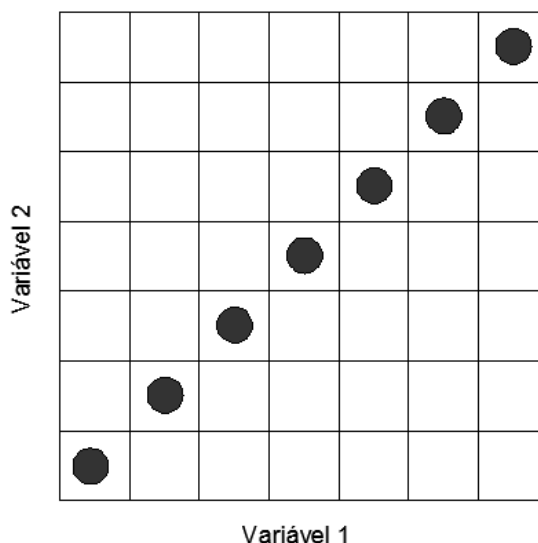


Figura 1-3: Hiper-cubo Latino não aleatório (adaptado de Fonte, 2011)

Para se obter modelos otimizados do Hiper-cubo Latino é importante que se tenham em conta os seguintes aspetos (Fonte, 2011):

- Ortogonalidade do modelo do Hiper-cubo: as colunas do modelo devem ser ortogonais;
- Minimizar a distância máxima de qualquer ponto do domínio de entrada ao seu ponto mais próximo;
- Maximizar a distância mínima entre os pontos do modelo.

2.3 Edifícios escolares

Os edifícios escolares são mais do que simples instalações onde as crianças e jovens aprendem com os seus professores as competências básicas da vida. Estes edifícios apresentam-se com diferentes dimensões, formas e materiais, e podem ser muito recentes ou ter vários anos de existência. São também locais que muitas vezes são utilizados para funções comunitárias e sociais: representações teatrais, atos eleitorais, reuniões sociais, ou atividades desportivas (Gülkan, 2011).

Os edifícios escolares são edifícios que têm, normalmente, um horário de funcionamento que se inicia de manhã e termina ao final da tarde, e com intermitência de utilização durante este período. Estes edifícios apresentam algumas características únicas que os diferenciam dos restantes, o que faz com que tenham um desempenho térmico e energético fortemente dependente de algumas propriedades e condicionantes, nomeadamente o seu perfil de ocupação (Custódio, 2011).

A taxa de ocupação nos edifícios escolares é muito elevada, pois os ocupantes deste tipo de edifícios passam grande parte do seu tempo dentro das salas de aula. Por isso, os seguintes aspetos devem ser considerados e o seu efeito devidamente contabilizado (Almeida, 2011):

- Elevadas taxas de ocupação implicam ganhos térmicos internos muito significativos;

- Elevadas taxas de ocupação implicam requisitos mais exigentes de ventilação e consequente qualidade do ar interior;
- Para melhorar as condições de iluminação natural das salas de aula as fachadas apresentam uma elevada área de envidraçados, implicando um aumento significativo do peso da parcela relativa aos envidraçados no balanço térmico do edifício;
- O sombreamento assume particular importância devido às elevadas cargas térmicas geradas pela área dos envidraçados (ganhos solares).

O uso eficiente da energia nas escolas depende de uma gestão e manutenção adequadas. Assim, existem fatores que se devem ter em conta na quantificação dessa eficiência tais como a estrutura do edifício, os materiais de construção, a iluminação, os sistemas de aquecimento e o número de ocupantes dos vários compartimentos (Custódio, 2011).

2.3.1 Disposições regulamentares

Existem algumas imposições regulamentares por forma a melhorar a eficiência energética e a qualidade do ar interior dos edifícios escolares. Essas medidas refletem-se, também, no conforto térmico que esses edifícios vão proporcionar aos seus utilizadores.

De acordo com as normas e regulamentos, nacionais e internacionais, há algumas imposições para edifícios escolares que estão diretamente relacionadas com a ocupação, a iluminação, a renovação de ar, a temperatura e a humidade relativa e o conforto térmico.

Ocupação

Os valores de taxa de ocupação de um edifício têm, obviamente, um grande impacto na simulação energética do seu desempenho, não só pelos ganhos de calor que trazem ao edifício mas também pelas perdas associadas ao caudal de ar novo que, habitualmente, é dependente da ocupação do edifício.

Na literatura encontram-se valores muito diferentes para a taxa de ocupação a considerar em salas de aula. De acordo com norma ASHRAE 62.1 (2004), na simulação térmica e energética de edifícios escolares, deve-se considerar nas salas de aula uma densidade de ocupação de 0,35 pessoas/m². Por sua vez, o RSECE (2006) impõe um valor de 0,1 pessoa/m². O Quadro 2-1 apresenta os valores da densidade de ocupação em várias normas e regulamentos.

Quadro 1-1: Valores típicos de densidade ocupacional para as instalações escolares

Norma Legislativa	Categoria	Densidade de ocupação pessoa/m ²
ASHRAE 62.1 (2004)	Salas de aula (idade superior a 9 anos)	0,35
	Salas de aula (idades 5-8)	0,25
	Sala de aula em anfiteatro	0,65
RSECE (2006)	Estabelecimento de ensino (salas de aula e espaços comuns)	0,10
	Estabelecimento de ensino superior (salas de aula e espaços comuns)	0,10
prENrev 15251 (2006)	Salas de aula	0,20

Para além da taxa de ocupação é ainda necessário definir o respetivo padrão de ocupação. De acordo com o RSECE (2006), o padrão de referência de ocupação em estabelecimentos de ensino, a considerar de segunda a sexta-feira, é o indicado na Figura 2-4.

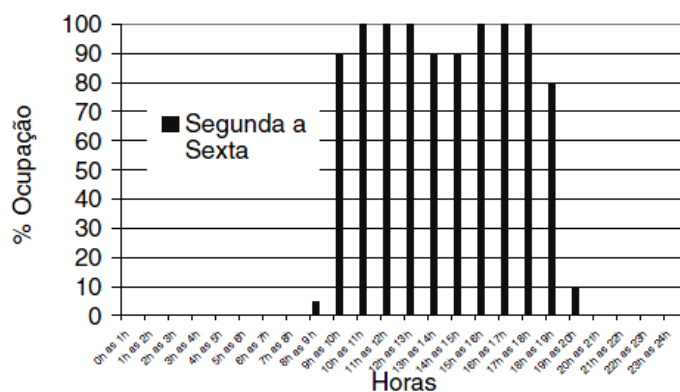


Figura 1-4: Padrão de ocupação para estabelecimentos de ensino (RSECE, 2006)

Iluminação

A iluminação é responsável por uma parte muito significativa da carga térmica e, consequentemente, é um dos principais fatores que contribui para os ganhos internos dos edifícios.

Também na iluminação se encontra grande variabilidade na regulamentação. Assim, de acordo com REHVA (2010), a carga térmica devido à iluminação deve situar-se entre 20 e 25 W/m². A norma ASHRAE 90.1 (2007) propõe 15 W/m² para salas de aula. O RSECE (2006)

propõe o perfil horário de iluminação, de segunda a sexta-feira, para os estabelecimentos de ensino, apresentado na Figura 2-5.

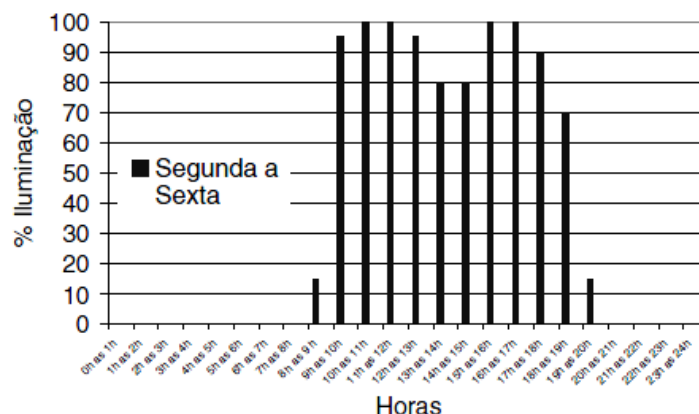


Figura 1-5: Horários de Iluminação para estabelecimentos de ensino (RSECE, 2006)

Renovação de ar

A renovação de ar é muito importante no comportamento dos edifícios pois permite controlar a concentração de poluentes no ar interior, mantendo-a em níveis apropriados, proporcionando uma qualidade do ar interior adequada ao bem-estar dos ocupantes. No que diz respeito à renovação de ar nas salas de aula, o RSECE (2006) prevê um caudal mínimo de ar novo de 30 m³/h por ocupante. Este valor está longe de ser consensual, não só por ser substancialmente mais elevado do que o referido noutras legislações internacionais mas também por condicionar, por vezes de forma decisiva, as opções relativas à estratégia de ventilação a adotar, resultando em muitas situações em opções cujo custo de manutenção e exploração são incomportáveis para os orçamentos das escolas portuguesas. O Quadro 2-2 apresenta as taxas de ventilação de referência em alguns países.

Quadro 1-2: Taxas de ventilação de referência prescritas nas normas internacionais e em alguns regulamentos nacionais para salas de aula (adaptado de REHVA, 2010)

País/Norma	Valor mínimo de renovação do ar m³/(h. ocupante)
Portugal (RSECE)	30
Reino Unido (Building Bulletin 101)	10,8 - 28,8*
França (Règlement sanitaire Départemental Type)	18
Finlândia (National building code – Part D2)	21,6
EN 15251 (2007)	25,2
ASHRAE 62.1 (2007)	17

* valor médio diário; o regulamento obriga a prever a possibilidade de atingir um valor 28,8m³/(h. ocupante), por exemplo através da abertura de janelas

Temperatura e humidade relativa

De acordo com RSECE (2006) os requisitos exigenciais de conforto térmico de referência para o cálculo das necessidades energéticas são os fixados no RCCTE (2006), tendo ainda em conta que a velocidade do ar não deve exceder os 0,2 m/s e que quaisquer desequilíbrios radiativos térmicos devem ser devidamente compensados. O RCCTE (2006), por sua vez, indica que as condições ambientes de conforto de referência são uma temperatura do ar de 20°C para a estação de aquecimento e de 25°C para a estação de arrefecimento; relativamente à humidade relativa é indicado o valor de 50% para a estação de arrefecimento.

No Quadro 2-3 encontram-se diferentes exigências regulamentares de acordo com regulamentos nacionais e também algumas normas internacionais, relativamente à temperatura e humidade relativa, em salas de aula de edifícios escolares.

Quadro 1-3: Exigências de temperatura e humidade relativa em salas de aula (Almeida, 2011)

País/Norma	Temperatura do ar [°C]		Humidade relativa [%]	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Portugal (RCCTE)	20	25		50
Reino Unido (Building Bulletin 87 e 101)	18	< 28*	-	< 70**
Alemanha (DIN 4701 e 4108)	20 - 23	< 26	40 - 60	
Finlândia (National building code - Part D2)	21 ±1	<25	-	-
EN 15251 (2007)***	20	26	-	-

*este valor pode ser excedido durante 80 horas por ano

** este valor pode ser excedido no máximo durante 2 horas num período de 12 horas

*** valores correspondentes à classe II

2.4 Modelo de simulação

O EnergyPlus é um programa computacional de simulação energética de edifícios que teve origem em dois programas, o Blast e o DOE-2, e foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos no fim da década de 70. Este programa permite quantificar o consumo de energia de sistemas de aquecimento, iluminação e ventilação através de simulações e tem a capacidade de simulação de cargas térmicas e consumos numa base horária, sub-horária e multi-zona (Silva, 2012).

O EnergyPlus, é reconhecido nos termos da norma *ANSI/ASHRAE Standard 140-2004 – Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*

ASHRAE, Atlanta, USA,(2011). Esta norma tem como objetivo estabelecer uma metodologia para a validação de um determinado programa de simulação, por comparação dos resultados com os obtidos noutros programas, para o mesmo caso de estudo. Esta norma propõe um conjunto de testes padrão que podem ser utilizados para identificar e diagnosticar diferenças na previsão das necessidades energéticas do edifício resultantes de erros no programa de simulação.

O EnergyPlus foi escrito em linguagem Fortran 90, o que faz com que o código de programação seja mais objetivo e fácil de interpretar, e tem como um dos seus pontos fortes a integração de todos os aspetos relacionados com as simulações energéticas de edifícios: cargas térmicas, produção de energia térmica e sistemas de ventilação e ar novo (Cartas, 2011).

O EnergyPlus realiza simulações integradas, o que significa que o cálculo de cargas térmicas nas diferentes zonas do edifício, bem como os sistemas de tratamento de ar e ventilação e as centrais de produção de energia térmica, são calculados simultaneamente e a sua interação é tida em conta.

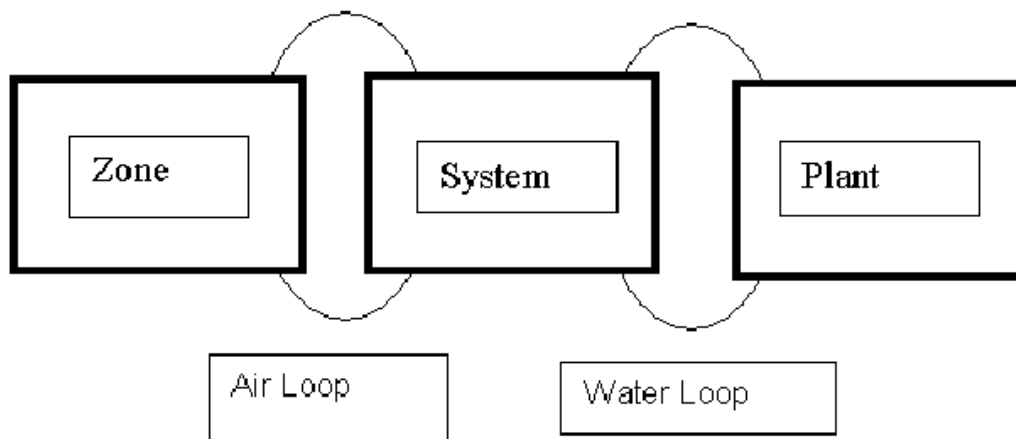


Figura 1-6: Esquema da solução simultânea de elementos no EnergyPlus

O método de cálculo fundamental do EnergyPlus baseia-se no balanço de energia, no qual a temperatura do ar contido dentro dos espaços é considerada uniforme.

O EnergyPlus utiliza uma equação de balanço de energia dentro da zona.

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{n=1}^{N_{surfaces}} h_n A_n (T_{sn} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad (2-1)$$

Em que:

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$ é a soma dos ganhos internos por convecção;

$\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ é a transferência de calor por convecção originária das superfícies existentes na zona;

$\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$ é a transferência de calor entre as diferentes zonas térmicas do edifício;

$\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$ é a transferência de calor devido à infiltração de ar exterior;

\dot{Q}_{sys} é a taxa de troca de calor entre o ar interior da zona e o sistema de climatização;

$$C_z = \rho_{air} C_p C_T ;$$

C_T é o fator de ponderação da transferência de calor ;

ρ_{air} é densidade do ar na zona;

C_p é o calor específico do ar na zona.

Como o EnergyPlus é um programa que levanta algumas dificuldades no processo de introdução dos dados de entrada (input) e na análise e interpretação dos dados de saída (output), existem no mercado várias soluções para colmatar esta situação. Um dos programas mais utilizados para esse fim é o DesignBuilder, que permite uma rápida e fácil introdução de geometrias e oferece um leque de ferramentas que tornam mais fácil a modelação de edifícios. O DesignBuilder permite que o edifício seja modelado num espaço tridimensional, o que facilita a criação de uma geometria muito aproximada à geometria real do edifício. Possui, ainda, uma grande base de dados a nível de materiais de construção, sistemas AVAC, perfis de ocupação e um conversor de ficheiros climáticos.

Após a introdução dos dados no DesignBuilder (criação do modelo de simulação) é possível codificar toda a informação num ficheiro IDF, sendo, portanto, facilmente reconhecidos e editados pelo EnergyPlus.

2.5 Fontes de incerteza

Quando se fala em análise probabilística associada à simulação térmica e energética de edifícios deve-se ter em conta as incertezas associadas a cada parâmetro e caracterizar as respetivas distribuições de probabilidade. Devem ser analisadas todas as possíveis fontes de incerteza com o objetivo de verificar e aperfeiçoar a confiabilidade dos modelos computacionais.

Existem dois tipos de incerteza (Silva et al., 2012):

- Epistémica - é usualmente causadora de fonte de erros de natureza sistemática que afetam a exatidão dos resultados;
- Aleatória - são fonte de erros aleatórios e que afetam a precisão dos resultados.

Com o objetivo de elencar todos os parâmetros causadores de incerteza associada à simulação térmica e energética, foram identificadas três naturezas diferentes para as fontes de incerteza: contexto, projeto e construção e utilização do edifício. A Figura 2-7 apresenta as incertezas relativas a cada uma delas.

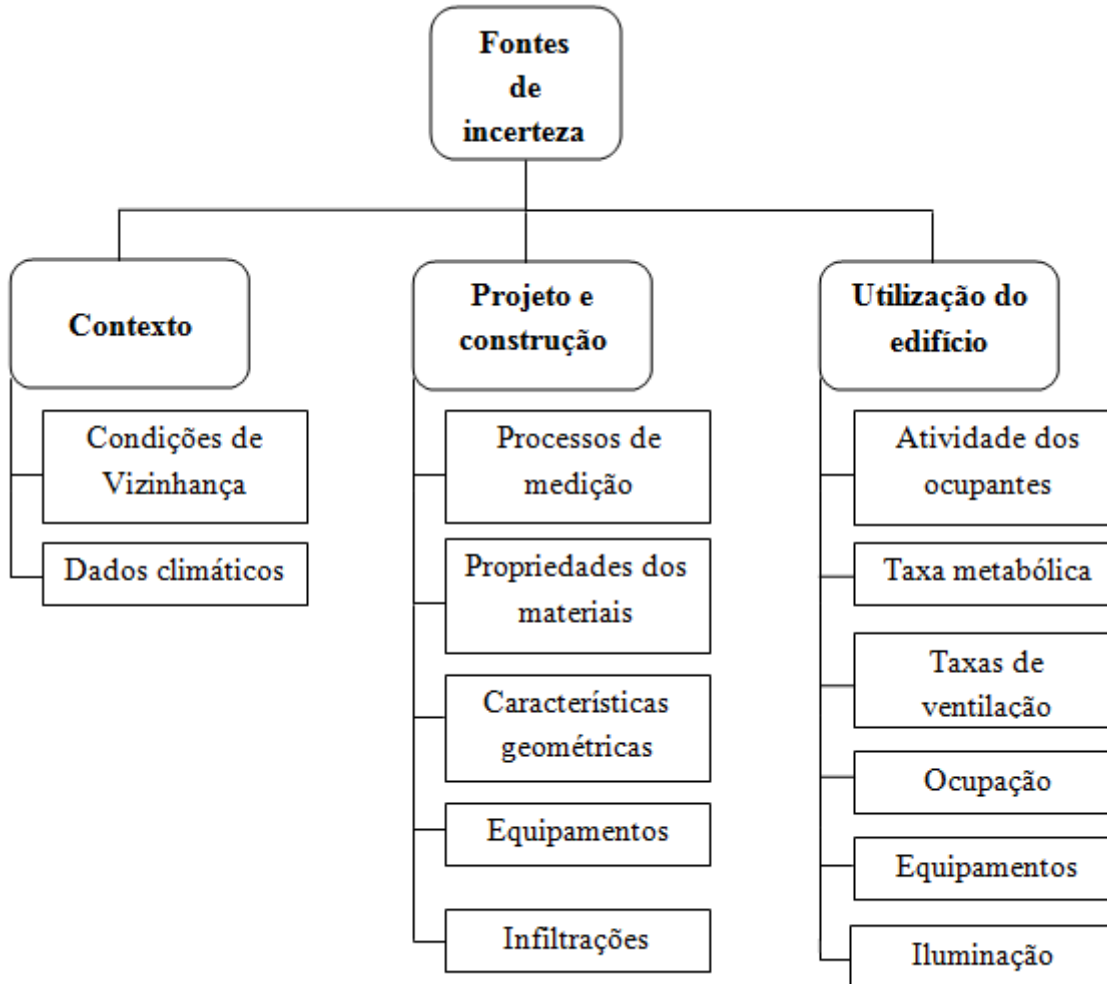


Figura 1-7: Fontes de incerteza na simulação térmica e energética de edifícios

2.6 Estudos anteriores na área da higrotérmica

No artigo "*A incorporação da incerteza na análise térmica de edifícios*" (Silva et al., 2012) é apresentado um estudo que consistiu na incorporação da incerteza na análise do desempenho térmico dos edifícios. Foi selecionado um edifício localizado em Bragança onde foram analisados três tipos de parâmetros que influenciam o desempenho térmico do edifício: as características térmicas da envolvente opaca, a taxa horária de renovação do ar interior e os ganhos interiores relativos à ocupação e equipamentos. Foram caracterizadas as distribuições de probabilidade dos parâmetros que admitem posse de incerteza, tomando como indicador de desempenho as necessidades de energia útil de aquecimento. Foi aplicado o método de Monte

Carlo para quantificar as necessidades de energia útil de aquecimento e o programa EnergyPlus com ferramenta de simulação.

O artigo "*Descrição das propriedades dos materiais para análise estocástica do comportamento higrotérmico de edifícios*" (Ramos et al., 2012) analisa os princípios e ferramentas que se utilizam na construção de uma base de dados, para uma análise estocástica do comportamento higrotérmico, tendo em conta as propriedades dos materiais. Foram propostos princípios para a sua construção, incluindo a seleção das propriedades, a correlação entre diferentes parâmetros, os vários materiais de construção e dados necessários. Por fim, foram realizadas análises aos dados experimentais, permitindo retirar algumas conclusões sobre as dificuldades observadas e as oportunidades que surgem a partir dessa análise.

A dissertação "*Aplicação do método de Monte Carlo em simulações higrotérmicas de edifícios*" (Fonte, 2011) pretende aplicar o método de Monte Carlo ao cálculo higrotérmico em regimes dinâmicos. Pretende também, compreender qual o comportamento das temperaturas interiores, ou seja, qual a distribuição que as temperaturas seguem, se a ventilação natural seguir uma distribuição natural. O estudo realizado permitiu concluir que existe uma maior variação das temperaturas interiores no mês de janeiro em comparação com o mês de maio. Verificou-se também que é necessário uma maior variação da ventilação natural e do número de ocupantes para que a amplitude dos intervalos de confiança seja maior e que estes dois parâmetros têm influência no comportamento das temperaturas interiores do edifício escolar analisado.

Segundo o artigo "*Comparison of sampling techniques on the performance of Monte-Carlo based on sensitivity analysis*" (Macdonald, 2009) é feita uma análise ao método Hipercubo Latino com uma amostragem simples, aleatória e estratificada quando este é utilizado num problema típico de construção. Foi escolhido um problema de ventilação natural porque tem um tempo de cálculo relativamente curto, o que possibilita a realização de múltiplas análises de sensibilidade. O estudo realizado mostra que em, comparação com uma amostra simples e aleatória, a amostragem do Hipercubo Latino produz resultados que não são significativamente diferentes com o aumento da robustez, ou seja menor variância na previsão média.

3. Modelo e metodologia

3.1 Descrição sumária do edifício

3.1.1 Geometria

O modelo em estudo teve como base um modelo de uma escola do tipo monobloco utilizado num trabalho anterior (Almeida, 2012). Foram feitas algumas alterações no modelo de referência, reduzindo-se o número de zonas, de forma a evitar um processo computacional muito exigente, o que tornaria todo o procedimento demasiado moroso.

O edifício em estudo tem dois pisos, como se pode verificar na Figura 3-1, em ambos foram consideradas duas zonas de salas de aula, duas zonas de arrumos e uma zona de instalações sanitárias. A planta de cada piso, bem como o respetivo zonamento, está representada na Figura 3-2.

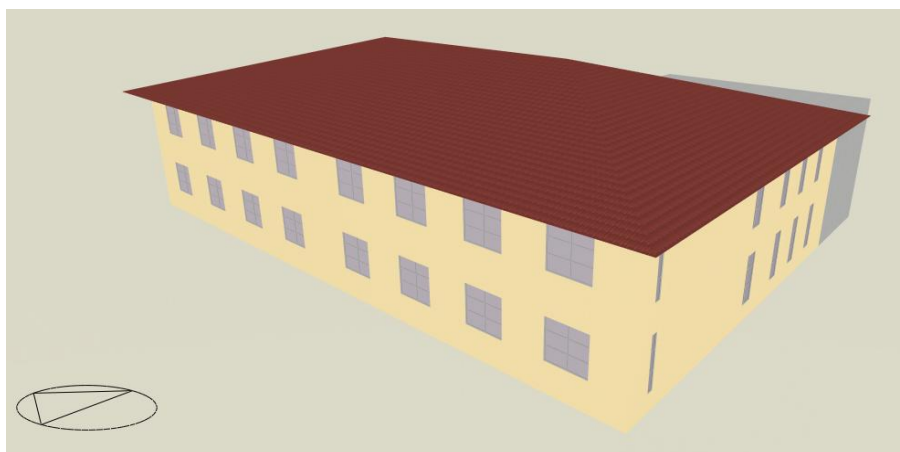


Figura 3-1: Modelo tridimensional da escola

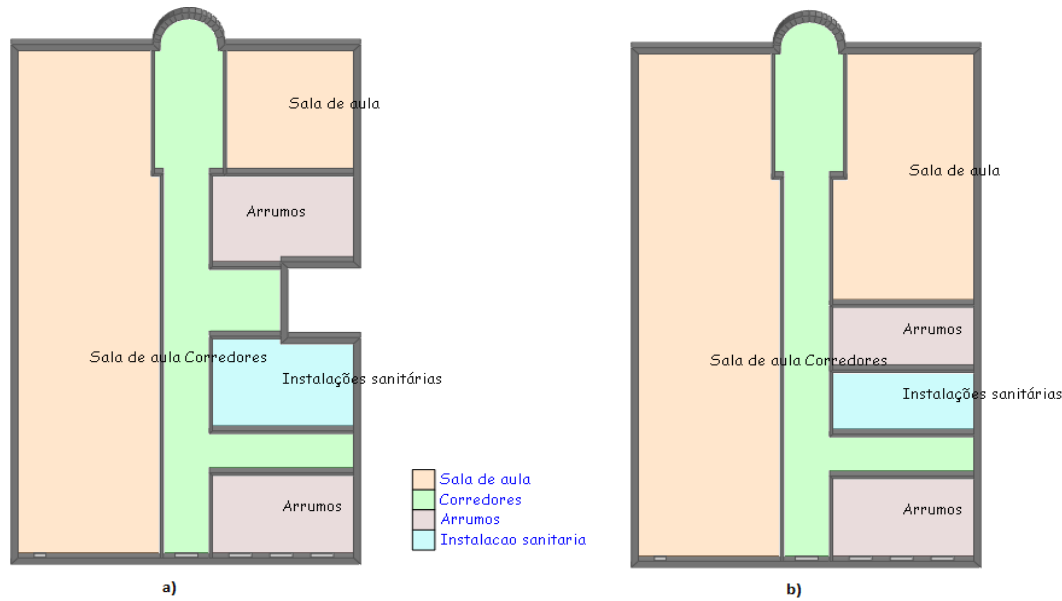


Figura 3-2: a) Planta do r/c; b) Planta do 1º piso

3.1.2 Elementos construtivos

Uma boa caracterização dos elementos construtivos é decisiva para uma simulação mais realista e que conduza a resultados satisfatórios.

Os elementos construtivos ao nível da envolvente opaca (paredes, pavimentos e cobertura) e não opaca (envidraçados) foram os utilizados no modelo original (Almeida, 2011). A partir das características de cada elemento construtivo foram criadas novas livrarias no programa DesignBuilder, correspondentes às soluções construtivas que foram utilizadas no modelo em estudo.

Quadro 3-1: Elementos construtivos da envolvente exterior opaca (Almeida, 2012)

	Material	Espessura e [m]	Condutibilidade térmica λ [W/(m.°C)]	Resistência térmica R [(m ² .°C)/W]	Massa volumica ρ [kg/m ³]
Parede exterior	Reboco Tradicional	0,015	1,5	-	2000
	Tijolo 15	0,15	-	0,39	1250
	Tijolo 11	0,11	-	0,27	1250
	Reboco Tradicional	0,01	1,50	-	2000
Cobertura	Telha cerâmica*	0,015	0,92	-	2000
	Laje de betão armado	0,20	2,00	-	2500
	Revestimento à base de gesso	0,015	0,50	-	1000

Os elementos construtivos da envolvente exterior opaca e algumas das suas propriedades térmicas estão apresentados no Quadro 3-1. Tal como referido anteriormente, este modelo já foi utilizado em trabalhos anteriores, tendo sido validado por comparação com os resultados de medições de temperatura efetuadas *in situ*.

Os envidraçados são compostos por caixilharia em alumínio, sem corte térmico, com um vidro simples com 8 mm e a proteção solar é conferida através de persianas exteriores em plástico. No Quadro 3-2 encontram-se os materiais criados para a caracterização dos envidraçados do edifício em estudo.

Quadro 3-2 - Elementos dos vãos envidraçados (Almeida, 2011)

Material	Propriedades	Considerações
Vidro simples 8 mm	$U = 5,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ $g = 0,82$	Considerou-se que a caixilharia de cada vão envidraçado dispõe de dois perfis horizontais e um vertical, com 5 cm de espessura cada. Considerou-se que o funcionamento da proteção depende da radiação solar total incidente no vão envidraçado. A proteção está em funcionamento quando a radiação ultrapassa os $120 \text{ W}/\text{m}^2$.
Caixilharia em alumínio sem corte térmico	$U = 5,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	
Persiana exterior em plástico	-	

3.1.3 Clima

O clima escolhido para ser utilizado neste estudo foi o de Coimbra, visto ser este o mais próximo de Viseu disponível na base de dados do EnergyPlus.

O EnergyPlus utiliza como dados climáticos um ficheiro no formato EPW, derivado do Typical Meteorological Year (TMY2). Estes ficheiros contêm informação numa base horária. A Figura 3-3 mostra as variações da temperatura ao longo do ano para a cidade de Coimbra.

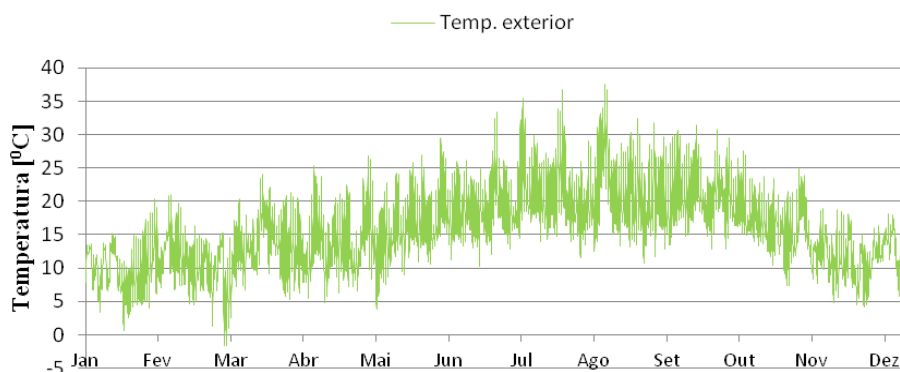


Figura 3-3: Variação das temperaturas na cidade de Coimbra

A Figura 3-4 mostra as variações da humidade relativa do ar ao longo do ano para a cidade de Coimbra.

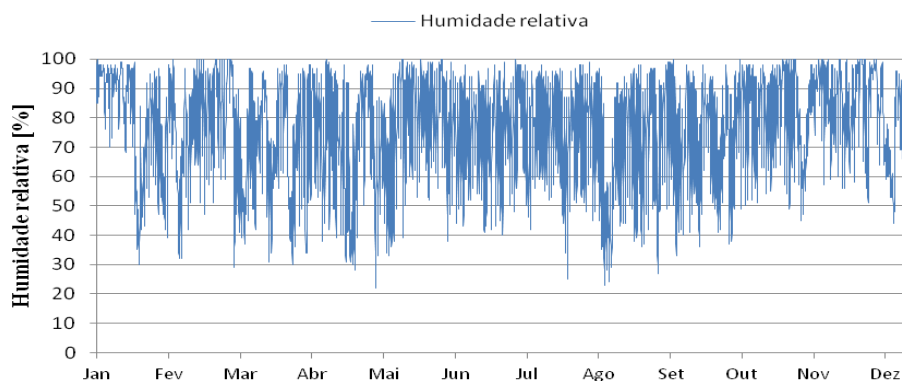


Figura 3-4: Variação da humidade relativa do ar na cidade de Coimbra

3.1.4 Ganhos internos

Os ganhos internos de um edifício, incluindo os edifícios escolares, podem ter várias origens, sendo as mais relevantes:

- Ocupação;
- Iluminação;
- Equipamentos.

Apesar de o modelo em análise contemplar outras zonas para além das salas de aula, destacam-se as considerações efetuadas na definição das características assumidas para as salas de aula face à sua importância relativa para este estudo.

Para a densidade de ocupação das salas de aula foi tomado por base os valores do RCESE (2006) que apresenta padrões de referência de utilização dos edifícios, para serem utilizados no cálculo das necessidades energéticas, e os respetivos perfis diários de ocupação, neste caso das salas de aula.

Através da consulta da norma ISO 7730 (2005), no seu anexo B, foi definido o valor da taxa de metabolismo para a atividade em causa, ou seja, uma atividade praticamente sedentária, em que a taxa metabólica é de 70 W/m^2 .

Os valores de densidade de ocupação e metabolismo para os corredores, instalações sanitárias e arrumos foram retirados do estudo referido anteriormente (Almeida, 2011).

O Quadro 3-3 mostra os valores adotados na modelação da atividade metabólica e da densidade de ocupação para os diferentes locais considerados no modelo de simulação.

Quadro 3-3: Dados da atividade metabólica (adaptado Almeida, 2011)

Espaço	Metabolismo [W/ocupante]	Densidade [ocupantes/m ²]	Perfil diário de ocupação (segunda a sexta-feira)
Sala de aula	94,275	0,10	
Corredores	112	0,60	
Arrumos	112	0,10	
Instalação sanitárias	112	0,60	

Relativamente à iluminação foi considerado o valor proposto pela norma ASHRAE 90.1 (2007) de 15 W/m² para salas de aulas convencionais e obedecendo ao perfil de utilização indicado no RCESE (2006) (Figura 2-5).

Não foi considerado nenhum ganho térmico interno devido aos equipamentos, pois considerou-se que apenas existiam salas de aula sem equipamentos informáticos ou audiovisuais.

Todos os ganhos internos foram considerados de segunda a sexta-feira, com exceção dos períodos de férias escolares. Foram considerados 15 dias de férias no Natal e 60 dias de férias de verão.

3.1.5 Renovação do ar e sistemas de aquecimento

As renovações de ar são um fator muito importante no comportamento de um edifício, pois têm uma grande influência na temperatura interior.

No modelo de simulação em estudo foi considerado que a escola não dispõe de dispositivos mecânicos de ventilação. A renovação de ar, necessária enquanto as salas de aula se encontram ocupadas, é obtida através da abertura de portas e janelas pelos próprios ocupantes. A ventilação é tipicamente quantificada pelas respectivas renovações horárias, que podem apresentar grande variabilidade.

Portanto, tendo em conta a importância da ventilação no desempenho térmico e energético dos edifícios e a grande variabilidade associada a este parâmetro, optou-se por definir as renovações horárias nas salas de aula como uma variável em estudo.

Num estudo experimental, efetuado na escola que serviu de base ao modelo de simulação, mediram-se as renovações horárias, através do método do gás traçador, com diferentes condições de envolvente, tendo-se obtido valores entre 0,1 e 1,4 h⁻¹. No mesmo estudo, noutra edifício escolar, foram medidos valores entre 0,9 e 2,7 h⁻¹ (Almeida, 2011). Em Portugal, o valor mínimo regulamentar é de 30 m³/h de ar novo, o que corresponde numa sala de aula típica, a renovações horárias entre 4 e 5 h⁻¹. Assim, nesta dissertação foram efetuadas duas análises, considerando dois valores médios de renovações horárias em salas de aula: 2 h⁻¹ e 4 h⁻¹.

No que diz respeito às infiltrações, decorrendo da deficiente estanqueidade da envolvente exterior, foi considerado um valor de 0,1 h⁻¹.

Relativamente ao sistema de aquecimento, o modelo adotado prevê a utilização de radiadores alimentados a água quente, programados para garantir uma temperatura mínima de 20°C durante o período de ocupação das salas de aula.

3.2 Variáveis do estudo

Como o objetivo deste trabalho passa por perceber a importância da influência dos dados de entrada na simulação energética de edifícios escolares, procedeu-se à escolha das variáveis para analisar. Como não se poderia selecionar um número demasiado elevado de variáveis, porque isso iria tornar o processo muito moroso, foram escolhidas apenas 5 variáveis. Assim, as variáveis eleitas foram:

- Densidade de pessoas (V_1);
- Atividade metabólica (V_2);
- Ventilação (V_3);
- Iluminação (V_4);
- Condutibilidade térmica do reboco interior das paredes e cobertura (V_5).

Esta escolha baseou-se em critérios relacionados com o peso das variáveis no resultado da simulação e com a variabilidade das imposições regulamentares. Relativamente à variável escolhida para caracterizar o comportamento térmico dos elementos construtivos, a condutibilidade térmica do reboco interior, embora prevendo a reduzida contribuição da mesma para as necessidades energéticas anuais do edifício, optou-se por inclui-la uma vez que a mesma se repete nas paredes exteriores e na cobertura.

Após a escolha das variáveis de estudo foi-lhes atribuída uma distribuição de probabilidade, considerando-se que todas as variáveis apresentam uma distribuição normal, sendo então necessário definir um valor médio e um desvio padrão para cada parâmetro de análise.

O valor médio de cada variável foi escolhido de forma a seguir as disposições regulamentares referidas anteriormente. Relativamente ao desvio padrão, esses valores foram selecionados após análise de trabalhos realizados anteriormente por vários autores.

No Quadro 3-4 apresentam-se as variáveis consideradas, juntamente com os valores da média e desvio padrão adotados para cada uma delas.

Quadro 3-4: Variáveis admitidas e a sua caracterização

Variáveis	Unidade	Média	Desvio padrão
Densidade de pessoas	ocupante/m ²	0,1	25%
Atividade metabólica	W/pessoa	94,275	10%
Ventilação	h ⁻¹	2 4	25%
Iluminação	W/m ²	15	10%
Condutibilidade térmica do reboco interior e cobertura	W/m K	0,5	10%

3.3 Metodologia

A preparação deste estudo começou pela escolha das variáveis que iriam ser analisadas de forma a perceber a importância da sua variabilidade no resultado final da simulação energética no edifício escolar selecionado.

A cada variável foi atribuída uma média e um desvio padrão (Quadro 3-4). Com os valores médios atribuídos a cada variável foi realizada a simulação do edifício através do programa EnergyPlus, com o intuito de obter a resposta para o caso base, considerando os dois cenários de renovações horárias. Posteriormente foi aplicado o método de Monte Carlo e analisado o efeito da variabilidade dos dados de entrada. Na Figura 3-5 apresenta-se um esquema representativo que explica a metodologia utilizada neste estudo.

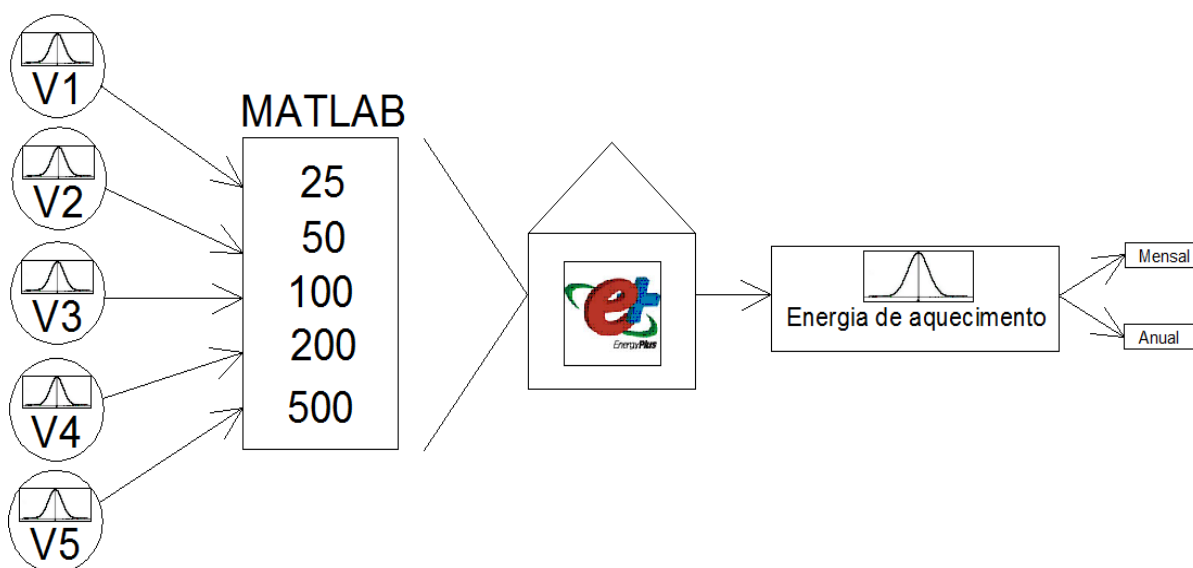


Figura 3-5: Esquema representativo da metodologia de estudo

Assim, as distribuições estatísticas dos dados de entrada (variáveis em estudo) são geradas através do método de Monte Carlo. A metodologia utilizada incluiu o recurso ao método do Hipercubo Latino. Foram ainda considerados 5 casos de diferente dimensão da amostra com o objetivo de avaliar a convergência dos resultados e tentar concluir sobre a dimensão necessária para a amostra em estudos desta natureza. Desta forma, consideraram-se amostras com 25, 50, 100, 200 e 500 valores para cada variável.

As distribuições das variáveis em estudo foram geradas com recurso a uma função pré-programada no programa MatLab. A Figura 3-6 representa esquematicamente o método como foram obtidas as amostras.

Os valores da média e do desvio padrão, obtidos através da metodologia representada na Figura 3-6, para os 5 casos, estão apresentados no Quadro 3-5.

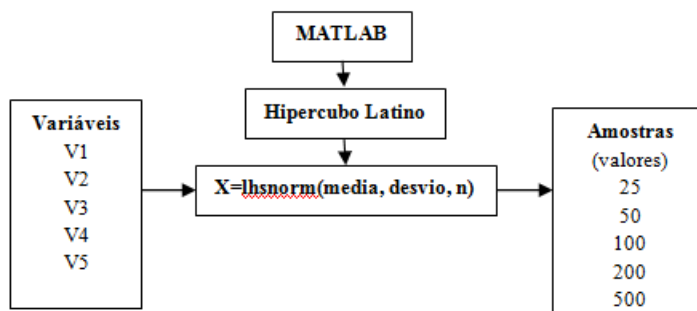


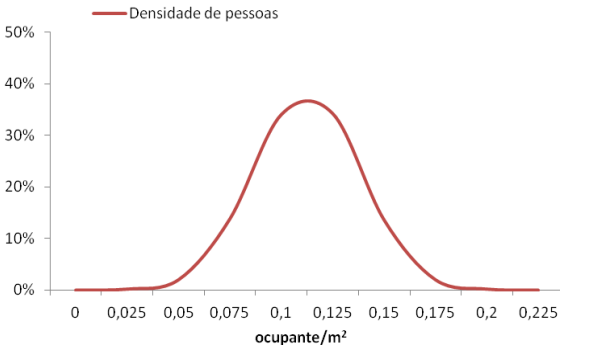
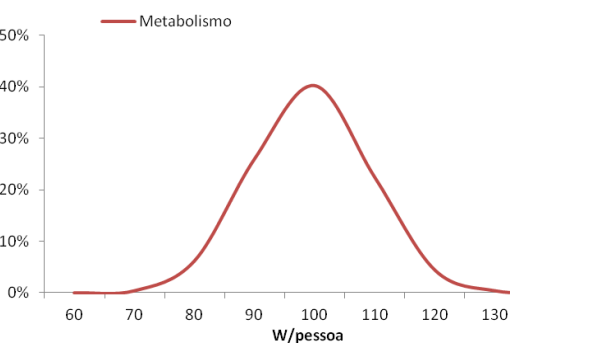
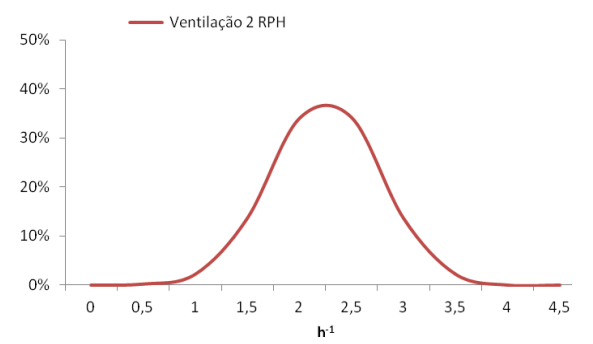
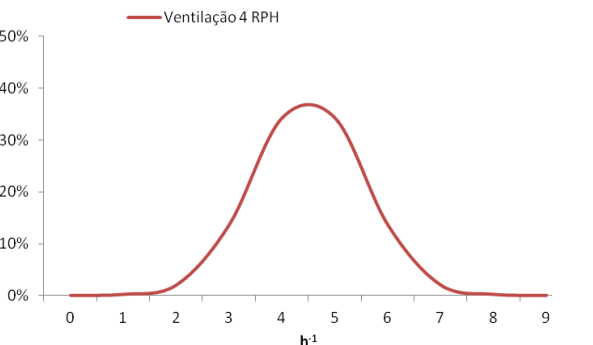
Figura 3-6: Esquema de obtenção das várias amostras

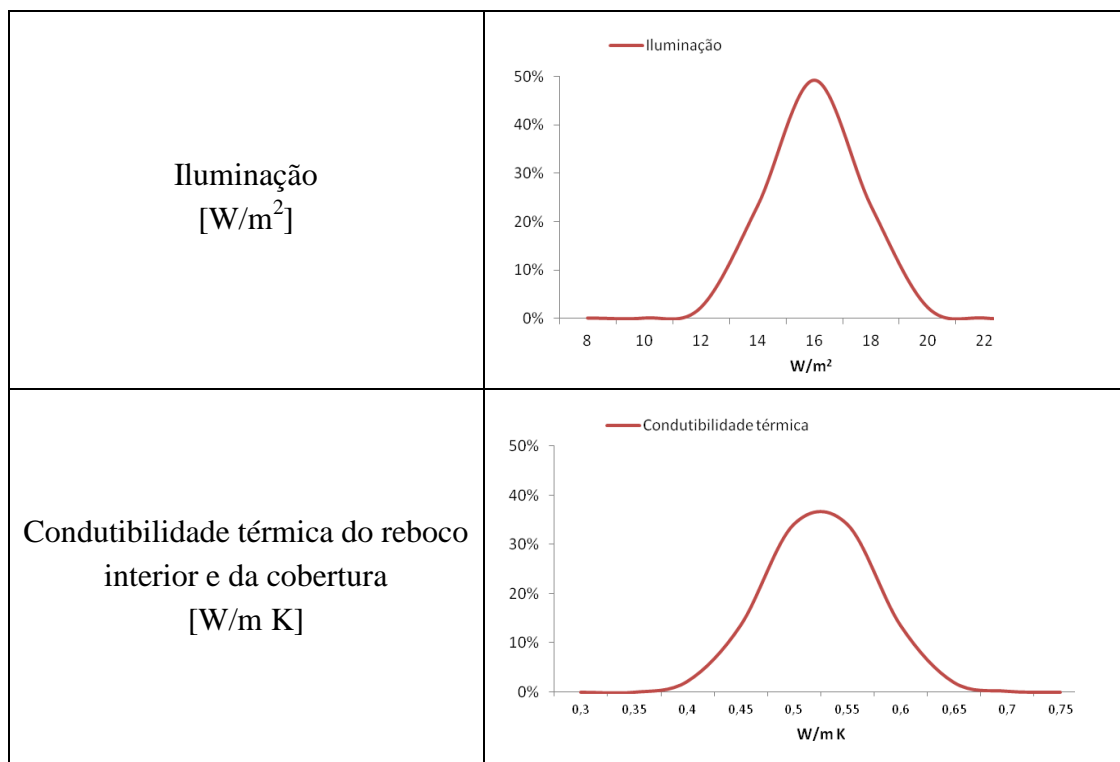
Quadro 3-5 - Média e desvio padrão dos valores gerados para as variáveis de estudo

Variáveis	Simulações	Média	Desvio padrão
Densidade de pessoas [ocupante/m ²]	25	0,1005	25,174%
	50	0,0998	24,849%
	100	0,0999	25,125%
	200	0,1000	25,000%
	500	0,1000	25,100%
Atividade metabólica [w/pessoa]	25	94,1062	9,864%
	50	94,3864	9,946%
	100	94,2698	9,951%
	200	94,2498	10,057%
	500	94,2757	9,998%
Ventilação 2 RPH [h ⁻¹]	25	2,0012	25,515%
	50	2,0011	25,851%
	100	2,0018	25,202%
	200	2,0011	25,136%
	500	1,9994	25,013%
Ventilação 4 RPH [h ⁻¹]	25	3,9721	27,376%
	50	3,9973	24,784%
	100	3,9989	25,124%
	200	3,9950	25,522%
	500	3,9997	25,009%
Iluminação [W/m ²]	25	14,9626	9,951%
	50	15,0014	9,666%
	100	14,9893	10,122%
	200	14,9962	9,985%
	500	15,0003	9,997%
Condutibilidade térmica do reboco interior e cobertura [W/m K]	25	0,5009	10,421%
	50	0,4992	10,076%
	100	0,5002	10,036%
	200	0,5000	9,960%
	500	0,5001	10,018%

No Quadro 3-6 podem observar-se os gráficos da distribuição estatística das diferentes variáveis de estudo para os valores obtidos na amostra de 500 valores. Os valores e gráficos relativos às restantes amostras podem ser consultados no Anexo A.

Quadro 3-6: Gráficos da distribuição das variáveis para uma amostra de 500 valores

Variáveis	Gráfico da distribuição
<p>Densidade de pessoas [ocupante/m²]</p>	
<p>Atividade metabólica [W/pessoa]</p>	
<p>Ventilação 2 RPH [h⁻¹]</p>	
<p>Ventilação 4 RPH [h⁻¹]</p>	



Após obtidas todas as amostras de cada variável, através de macros escritas em ambiente Excel, foram criados um total de 1750 ficheiros de *input* para o EnergyPlus, a partir dos quais foram realizadas o mesmo número de simulações anuais com dados horários.

A recolha dos resultados obtidos, a partir das simulações anteriormente referidas, também foi executada através de macros, que organizavam os resultados da energia anual de cada simulação em folhas de Excel, o que facilitou em muito o trabalho da sintetização e análise dos dados.

4. Resultados

4.1 Introdução

O presente capítulo apresenta os principais resultados obtidos neste trabalho. Assim, são analisados os resultados da simulação estocástica das necessidades energéticas de aquecimento do edifício escolar, primeiro os relativos aos dados mensais e depois os valores anuais. Segue-se um estudo relativo à convergência dos resultados em termos de média e de desvio padrão. Para tal, são comparados com o caso base os valores obtidos para amostras de 25, 50, 100, 200 e 500 casos. Foi analisada a convergência relativamente aos dados de energia mensal e anual.

Por fim é realizada uma discussão e análise crítica dos resultados obtidos para as várias situações em estudo.

4.2 Necessidades energéticas

4.2.1 Caso base

Para facilitar a compreensão dos resultados seguintes começa-se por detalhar o caso base, ou seja, utilizando os valores médios definidos para as variáveis em estudo, de acordo com o indicado no Quadro 3-4. São apresentados os resultados mensais e o total anual para os dois cenários de ventilação.

- 2 renovações horárias

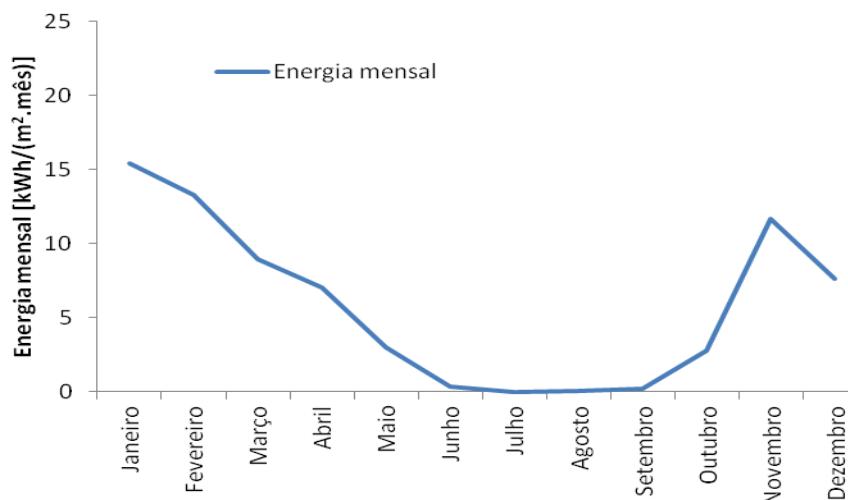


Figura 4-1: Perfil de consumo da energia anual para o caso base com uma ventilação de 2 renovações horárias

Na Figura 4-1 está representado o perfil de consumo anual da energia para aquecimento das salas de aula, para o caso base, com uma ventilação de 2 renovações horárias.

O Quadro 4-1 mostra os valores mensais e o total anual das necessidades de energia das salas de aula obtidos, para o caso base, com ventilação de 2 renovações horárias.

Quadro 4-1: Valores da energia mensal e total anual para o caso base com uma ventilação de 2 renovações horárias

Mês	Energia Mensal [kWh/(m².mês)]
Janeiro	15,404
Fevereiro	13,255
Março	8,910
Abril	6,992
Mai	3,003
Junho	0,343
Julho	0
Agosto	0,042
Setembro	0,222
Outubro	2,787
Novembro	11,645
Dezembro	7,641
Total anual	70,245

• 4 renovações horárias

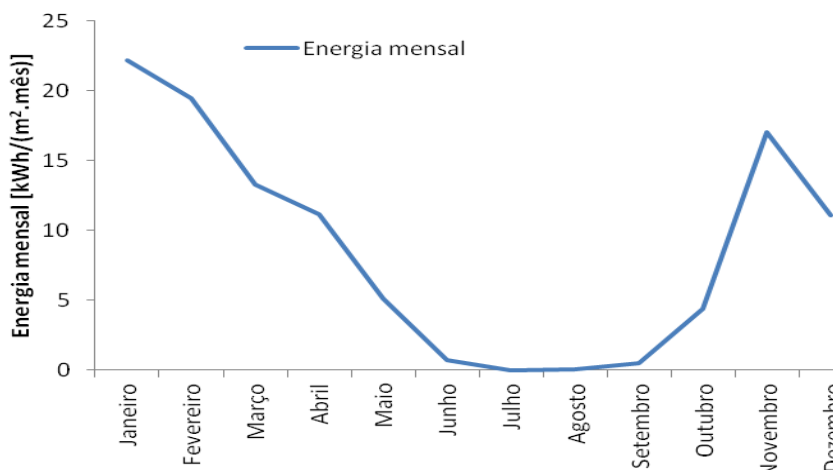


Figura 4-2: Perfil de consumo da energia anual para o caso base com uma ventilação de 4 renovações horárias

A Figura 4-2 apresenta o perfil de consumo anual da energia para aquecimento das salas de aula, para o caso base, com uma ventilação de 4 renovações horárias. Os valores obtidos para as necessidades de energia mensal e total anual das salas de aula podem ser observados no Quadro 4-2.

Quadro 4-2: Valores da energia mensal e total anual para o caso base com uma ventilação de 4 renovações horárias

Mês	Energia Mensal [kWh/(m ² .mês)]
Janeiro	22,147
Fevereiro	19,446
Março	13,262
Abril	11,161
Mai	5,127
Junho	0,685
Julho	0
Agosto	0,078
Setembro	0,459
Outubro	4,368
Novembro	17,033
Dezembro	11,090
Total anual	104,857

4.2.2 Energia mensal

Uma vez que deste estudo resultou um número muito elevado de informação optou-se por incluir apenas alguns resultados, considerados como representativos do total, no corpo

principal do texto, ficando a restante informação aglutinada no Anexo B. Desta forma, na análise mensal, são apresentados apenas os gráficos referentes ao mês de janeiro, para as amostras de 25 e 500 casos, referentes aos dois cenários de ventilação (2 h^{-1} e 4 h^{-1}).

• 2 renovações horárias

Neste ponto será realizada uma análise ao comportamento das necessidades de energia para aquecimento das salas de aula relativas ao mês de janeiro, para os casos de 25 e 500 amostras, com uma ventilação de 2 renovações horárias.

✓ Caso de 25 amostras

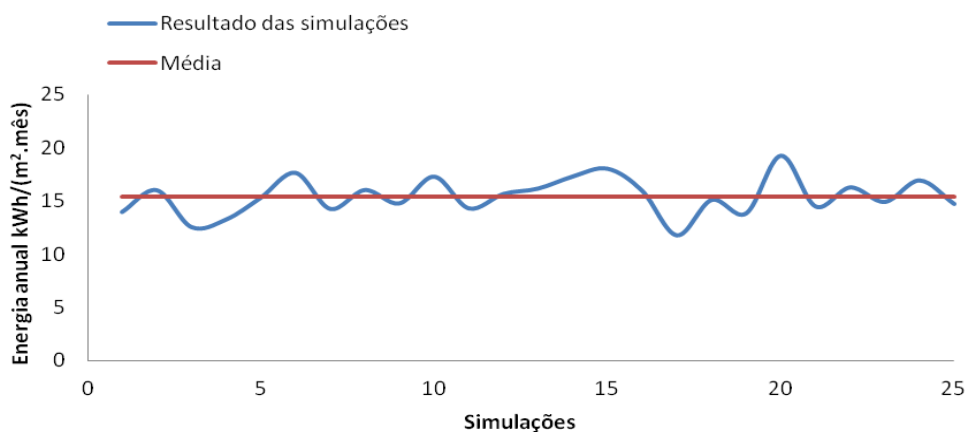


Figura 4-3: Energia mensal das salas de aula no mês de janeiro para uma ventilação de 2 renovações horárias

Como se pode observar na Figura 4-3 existe uma alguma variabilidade do valor das necessidades energéticas das salas de aula no mês de janeiro ao longo das 25 simulações. A energia média deste mês é de $15,411 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{mês})$, próximo dos $15,404 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{mês})$ obtidos para o caso base.

O Quadro 4-3 apresenta alguns dados estatísticos relativos às 25 simulações do mês de janeiro com a ventilação de 2 renovações horárias.

Quadro 4-3: Análise estatística de janeiro com uma ventilação de 2 renovações horárias

Indicador estatístico	
Média	15,411
Mediana	15,288
Desvio padrão	1,754
Máximo	19,237
Mínimo	11,749
Coefficiente de assimetria	0,058
Coefficiente de variação	11,383

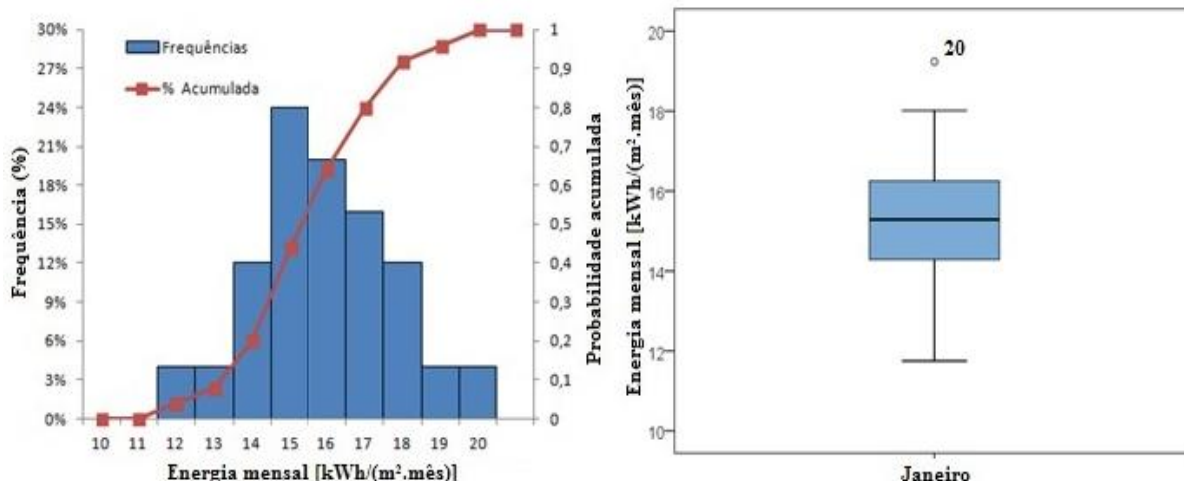


Figura 4-4: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de janeiro das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias

A partir da análise do histograma da Figura 4-4 pode-se verificar que os valores da energia mensal que ocorrem com mais frequência encontram-se entre os 14 e 15 kWh/(m².mês).

Para verificar se os valores da energia do mês de janeiro das salas seguem uma distribuição normal, utilizou-se um teste estatístico, o de Kolmogorov-Smirnov. Este teste foi desenvolvido para verificar a hipótese de um determinado conjunto de dados poder ter sido extraído de uma determinada distribuição.

O p-valor obtido do teste de Kolmogorov-Smirov, sem correção de Lilliefors, para a energia de janeiro foi de 0,997, como esse valor é superior a 0,2, significa que os valores da energia seguem uma distribuição normal, já que foi esta a distribuição estatística assumida inicialmente para todas as variáveis em estudo.

A distribuição dos valores da energia de janeiro para uma amostra de 25 valores com uma ventilação de 2 renovações horárias é muito ligeiramente enviesada à esquerda visto que o seu coeficiente de assimetria é de 0,058 (Quadro 4-3).

Da análise dos resultados pode dizer-se que o valor médio de consumo é de 15,411 kWh/(m².mês) e que em 80% dos casos esse valor estará abaixo de 16 kWh/(m².mês), aproximadamente.

✓ **Caso de 500 amostras**

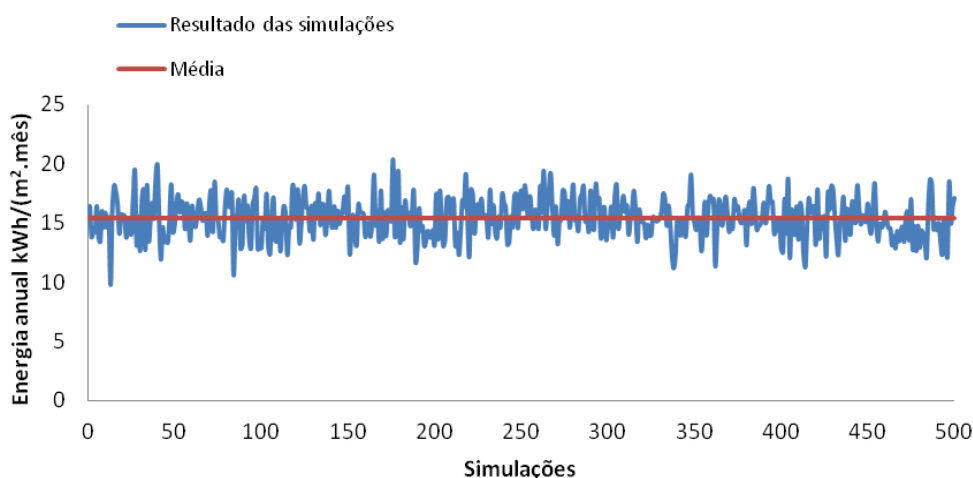


Figura 4-5: Energia mensal das salas de aula no mês de janeiro para uma ventilação de 2 renovações horárias

Ao observar a Figura 4-5 verifica-se que existe uma grande variabilidade da energia das salas de aula no mês de janeiro ao longo das 500 simulações. A energia média obtida para este mês é de 15,399 kWh/(m².mês), um valor bastante próximo do caso base.

O Quadro 4-4 apresenta alguns dados estatísticos relativos aos valores da energia mensal obtido para as 500 simulações do mês de janeiro com a ventilação de 2 renovações horárias.

Quadro 4-4: Análise estatística de janeiro com uma ventilação de 2 renovações horárias

Indicador estatístico	
Média	15,399
Mediana	15,382
Desvio padrão	1,677
Máximo	20,392
Mínimo	9,761
Coefficiente de assimetria	-0,130
Coefficiente de variação	10,893

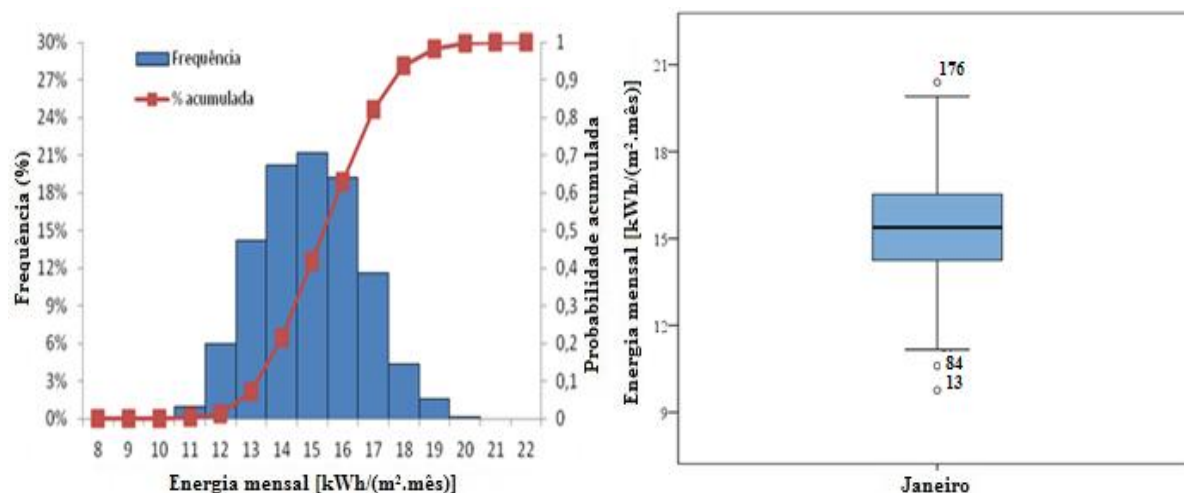


Figura 4-6: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de janeiro das salas de aula para uma ventilação de 4 renovações horárias

Ao analisar histograma da Figura 4-6 pode-se verificar que os valores da energia mensal no caso das 500 simulações ocorrem com mais frequência entre os 14 e 15 kWh/(m².mês), tal como acontece no caso das 25 simulações (Figura 4-4).

Para este caso o p-valor obtido através do teste de Kolmogorov-Smirnov, sem correção de Lilliefors, para a energia de janeiro foi de 0,987, como esse valor é superior a 0,2 significa que os valores da energia seguem uma distribuição normal, já que foi esta a distribuição estatística assumida inicialmente.

A distribuição dos valores da energia de janeiro para este caso das 500 amostras é muito ligeiramente enviesada à direita visto que o seu coeficiente de assimetria é de -0,13 (Quadro 4-4).

Da análise dos resultados pode dizer-se que o valor médio de consumo é de 15,399 kWh/(m².mês) e que em 80% dos casos esse valor estará abaixo de 16 kWh/(m².mês), aproximadamente.

• 4 renovações horárias

Neste ponto será também realizada uma análise ao comportamento da energia do mês de janeiro das salas de aula para um caso de 25 e 500 mas com uma ventilação de 4 renovações horárias.

✓ Caso de 25 amostras

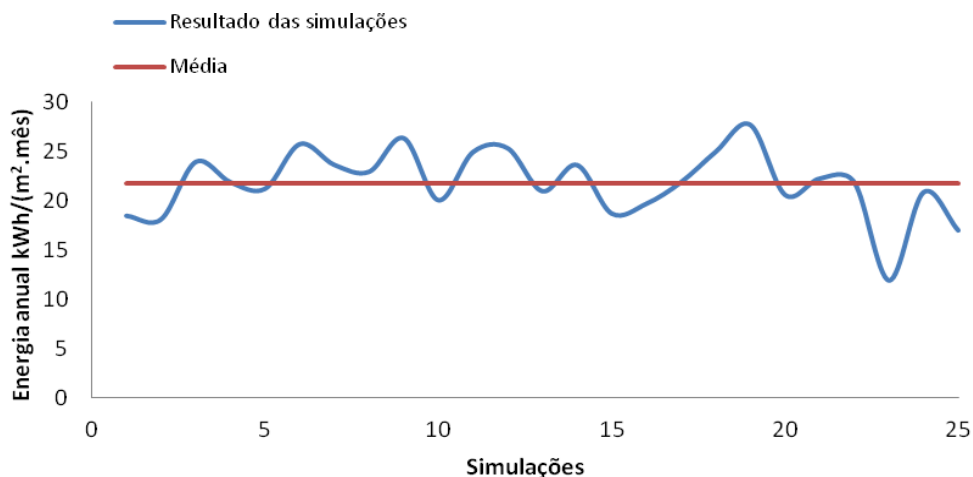


Figura 4-7: Energia mensal das salas de aula no mês de janeiro para uma ventilação de 4 renovações horárias

A Figura 4-7 apresenta a energia de janeiro das salas de aula onde se pode observar que esta varia ao longo das 25 simulações, apresentando um valor médio da energia de 21,766 kWh/(m².mês).

Alguns dados estatísticos relativos às 25 simulações de janeiro com uma ventilação de 4 renovações horárias estão apresentados no Quadro 4-5.

Quadro 4-5: Análise estatística de janeiro com uma ventilação de 4 renovações horárias

Indicador estatístico	
Média	21,766
Mediana	21,863
Desvio padrão	3,431
Máximo	27,686
Mínimo	11,889
Coeficiente de assimetria	- 0,796
Coeficiente de variação	15,762

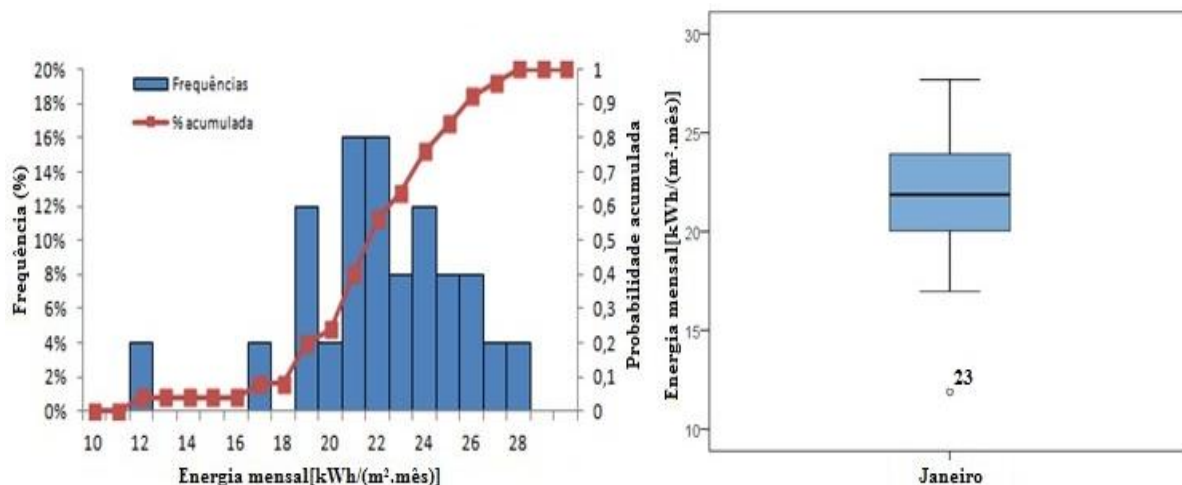


Figura 4-8: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de janeiro das salas de aula para uma ventilação de 4 renovações horárias

Ao analisar a Figura 4-8 pode-se verificar que os valores da energia anual que ocorrem com mais frequência encontram-se entre 20 e 22 kWh/(m².mês).

Tal como acontece com os valores da energia do mês de janeiro para uma ventilação de 2 renovações horárias, neste caso também seguem uma distribuição normal visto que o p-valor obtido no teste de Kolmogorov-Smirnov, sem correção de Lilliefors, foi de 0,988.

Como este caso apresenta um coeficiente de assimetria negativo (-0,796), mas muito próximo de zero, significa que a distribuição é muito ligeiramente enviesada à direita.

Da análise dos resultados pode dizer-se que o valor médio de consumo é de 21,766 kWh/(m².mês) e que em 80% dos casos esse valor estará abaixo de 24 kWh/(m².mês), aproximadamente.

✓ **Caso de 500 amostras**

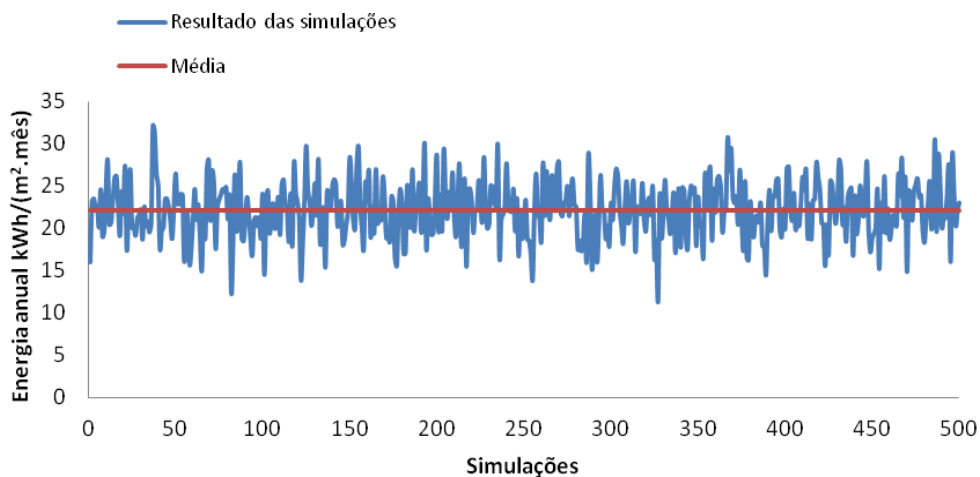


Figura 4-9: Energia mensal das salas de aula no mês de janeiro para uma ventilação de 4 renovações horárias

Como se pode verificar na Figura 4-9 a energia de janeiro das salas de aula varia de valor ao longo das 500 simulações, apresentando um valor médio da energia de 22,142 kWh/(m².mês), tal como aconteceu no estudo para o caso com 2 renovações horárias de ventilação, e como seria expectável, o caso das 500 amostras é o mais aproximado do valor obtido para o caso base (22,147 kWh/(m².mês))

Podem ser observados alguns dados estatísticos relativos às 500 simulações de janeiro com uma ventilação de 4 renovações horárias no Quadro 4-6.

Quadro 4-6: Análise estatística de janeiro com uma ventilação de 4 renovações horárias

Indicador estatístico	
Média	22,142
Mediana	22,157
Desvio padrão	3,360
Máximo	32,094
Mínimo	11,304
Coefficiente de assimetria	-0,015
Coefficiente de variação	15,175

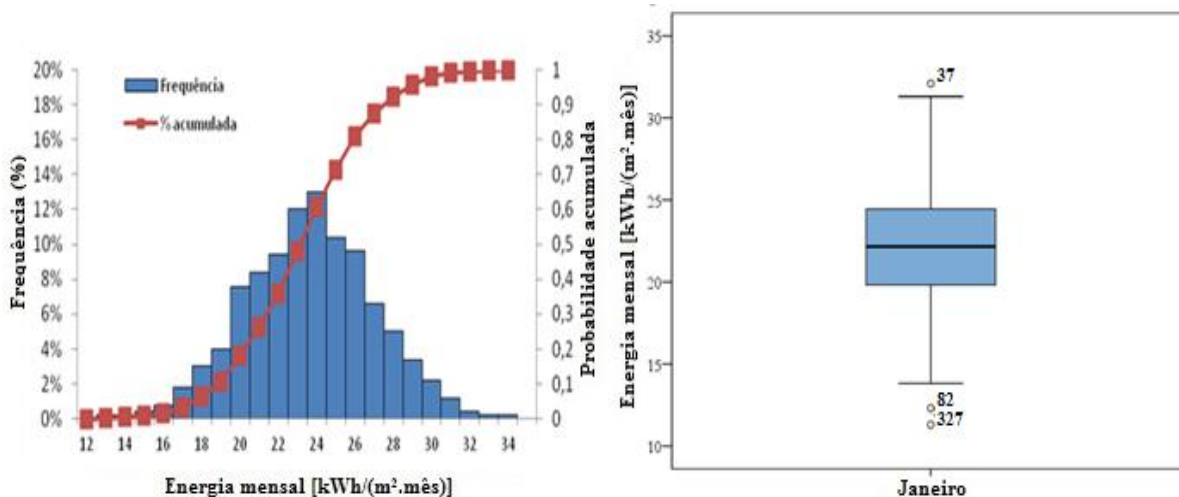


Figura 4-10: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de janeiro das salas de aula para uma ventilação de 4 renovações horárias

Na Figura 4-10 pode-se verificar que os valores da energia anual que ocorrem com mais frequência encontram-se entre 23 e 24 kWh/(m².mês).

Tal como acontece com os valores energia do mês de janeiro dos casos analisados anteriormente, neste caso também seguem uma distribuição normal visto que o p-valor obtido no teste de Kolmogorov-Smirnov, sem correção de Lilliefors, foi de 1.

Como este caso apresenta um coeficiente de assimetria negativo (-0,015), significa que a distribuição é muito ligeiramente enviesada à direita.

Da análise dos resultados pode dizer-se que o valor médio de consumo é de 22,142 kWh/(m².mês) e que em 80% dos casos esse valor estará abaixo de 25 kWh/(m².mês), aproximadamente.

Síntese crítica

Uma vez que foram obtidos valores da energia para todos os meses, será então realizada uma análise aos resultados obtidos para as necessidades energéticas de aquecimento das salas de aula, de maneira a comparar com os valores obtidos nas simulações para os casos base.

• 2 renovações horárias

Neste ponto será realizada uma análise aos perfis de consumo anuais, para os casos de 25 e 500 amostras, com uma ventilação de 2 renovações horárias.

✓ Caso de 25 amostras

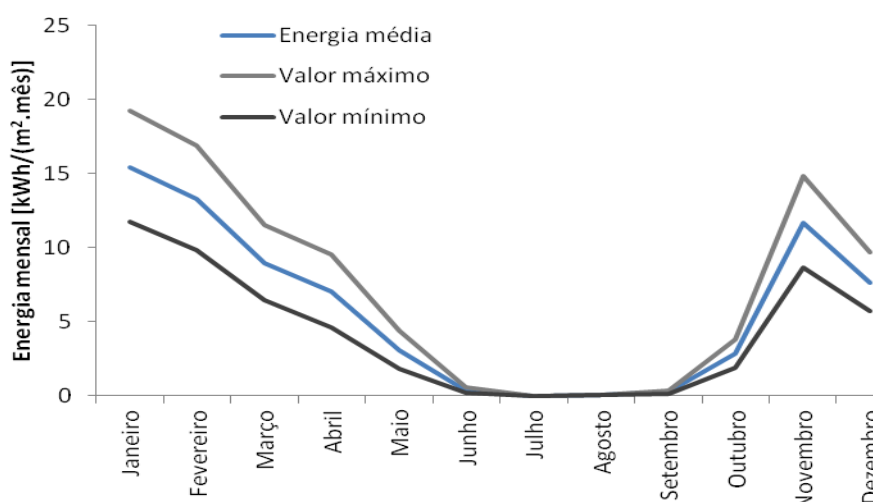


Figura 4-11: Perfil de consumo da energia anual para o caso de 25 amostras com 2 renovações horárias

Na Figura 4-11 está representado o perfil de consumo da energia anual das salas de aula para o caso das 25 amostras, onde se pode verificar o valor médio, máximo e mínimo obtido nas 25 simulações da energia de cada mês do ano para uma ventilação 2 renovações horárias.

Ao analisar o perfil acima representado verifica-se que o valor da energia anual é mais elevado nos meses da estação de aquecimento (1 de outubro a 31 de maio), e que vai diminuindo à medida que se aproxima dos meses da estação de arrefecimento (1 de junho a 30 de setembro). Como se pode observar a energia nos meses da estação de arrefecimento é muito próxima de zero.

Observa-se ainda uma quebra da energia do mês de novembro para dezembro. Este facto está diretamente relacionado com os 15 dias de férias considerados no mês de dezembro, o que faz com que ocorra essa diminuição das necessidades de energia para aquecimento das salas de aula.

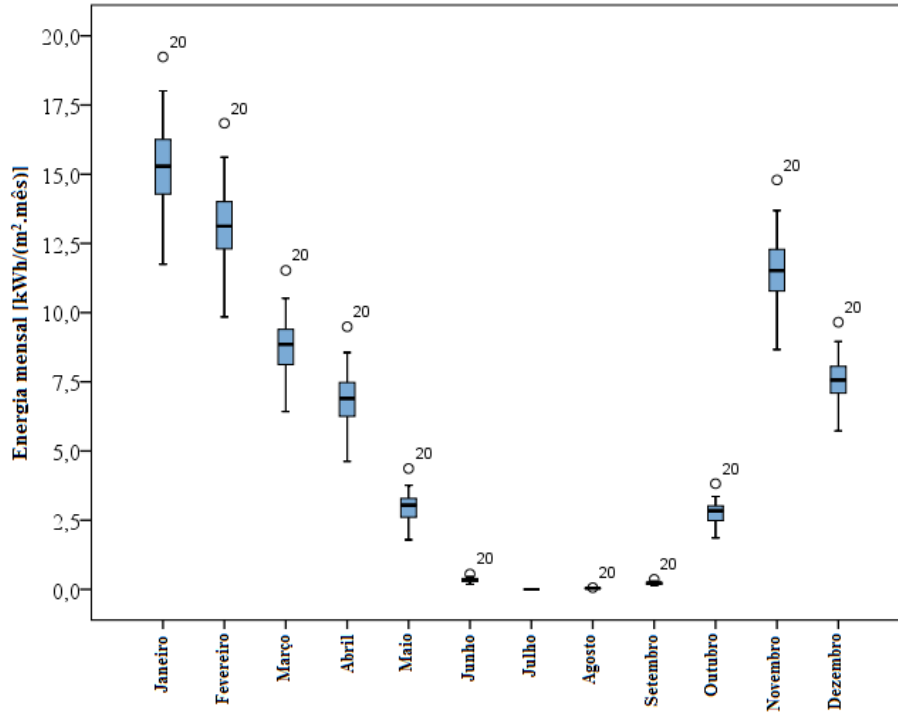


Figura 4-12: Box-plot da energia mensal durante um ano para 25 amostras e uma ventilação de 2 renovações horárias

Na Figura 4-12 apresentam-se as box-plots da energia mensal das salas de aula durante um ano para uma ventilação de 2 renovações horárias, podendo assim ser analisado o intervalo de valores da energia das salas de aula obtidos no caso das 25 simulações.

Ao observar as box-plot de cada mês verifica-se a existência de um outlier (valor extremamente alto ou baixo), que está relacionado com os valores das variáveis utilizados na simulação número 20.

Como se pode verificar no Quadro 4-7 o valor da ventilação é bastante elevado em relação ao considerado nas restantes simulações, justificando assim o aparecimento do outlier com a identificação 20 na parte superior dos box-plots, uma vez que, como se irá demonstrar mais à frente, existe uma correlação linear forte entre as necessidades energéticas para aquecimento das salas de aula e o valor admitido para a ventilação.

Quadro 4-7: Valores das variáveis do outlier 20

Variáveis	Caso 20	Caso base
Densidade de pessoas	0,1151	0,1
Atividade metabólica	85,6299	94,275
Ventilação	3,0576	2
Iluminação	13,0797	15
Condutibilidade térmica do reboco interior e cobertura	0,4725	0,5

✓ Caso de 500 amostras

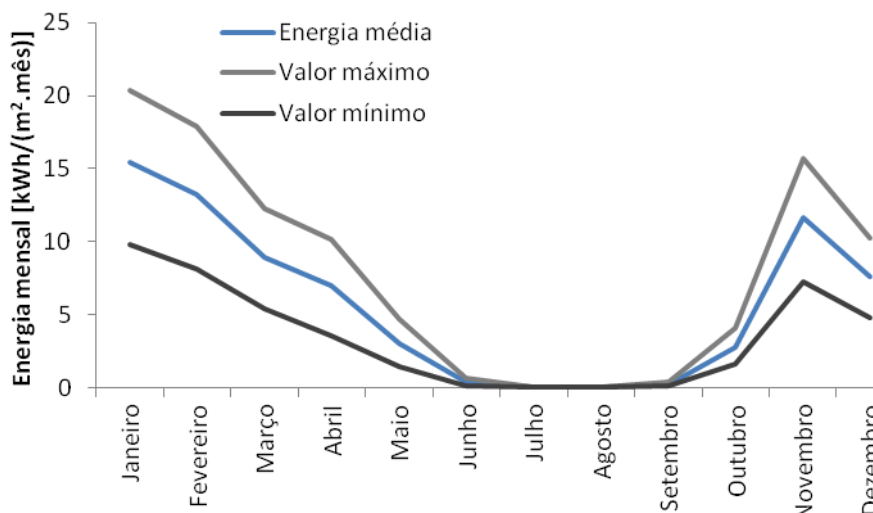


Figura 4-13: Perfil de consumo da energia anual para o caso de 500 amostras com 2 renovações horárias

Na Figura 4-13 está representado o perfil de consumo anual da energia para aquecimento das salas de aula para o caso das 500 amostras, onde se pode verificar o valor médio, máximo e mínimo da energia obtida nas 500 simulações, para cada mês do ano com uma ventilação de 2 renovações horárias.

Verifica-se que o perfil obtido para este caso é muito idêntico ao do caso da Figura 4-11. No entanto, os valores obtidos para a energia média das salas de aula durante o ano são mais aproximados dos valores do caso base do que no caso das 25 amostras com uma ventilação de 2 renovações horárias.

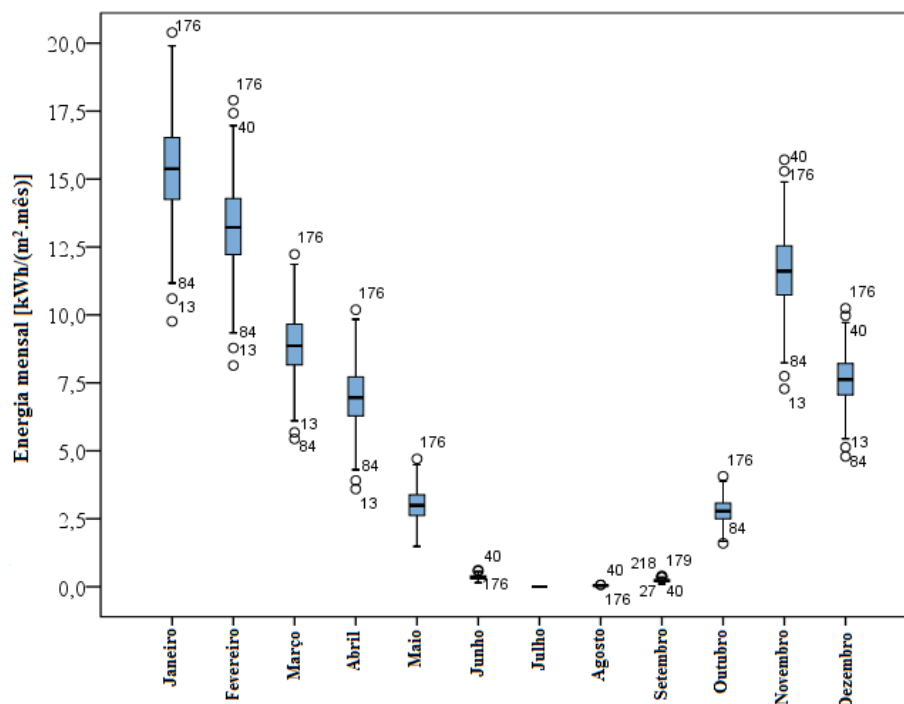


Figura 4-14: Box-plot da energia mensal durante um ano para 500 amostras e uma ventilação de 2 renovações horárias

Na Figura 4-14 apresentam-se as box-plots da energia mensal das salas de aula durante um ano para uma ventilação de 4 renovações horárias, podendo assim ser analisado o intervalo de valores da energia das salas de aula obtidos no caso das 500 simulações para cada mês.

Ao comparar os resultados obtidos neste caso com o das 25 amostras verifica-se o aparecimento de mais do que um outlier na box-plot de cada mês. Este acontecimento está relacionado com o elevado número de simulações (500 amostras), ou seja, a existência de uma amostra de maior dimensão permite cobrir melhor todo o espaço das variáveis de decisão.

Os valores das variáveis que geraram os outliers estão apresentados no Quadro 4-8. Onde se pode verificar que os valores da ventilação dos outliers 13 e 84 são valores extremamente baixos, daí o aparecimento dos outliers na parte inferior das box-plots, por sua vez, os outliers 27, 40, 176, 179 e 218 têm valores relativamente altos, daí aparecerem na parte superior. Estes resultados confirmam que a variável com maior peso no desempenho energético do edifício é a ventilação.

Quadro 4-8: Valores das variáveis dos diferentes outliers

Variáveis	Outlier							Caso base
	13	27	40	84	176	179	218	
Densidade de pessoas	0,119	0,120	0,059	0,141	0,113	0,088	0,092	0,1
Atividade metabólica	90,485	114,676	93,599	77,913	105,656	82,152	93,816	94,275
Ventilação	0,223	3,161	3,328	0,664	3,442	3,178	3,025	2
Iluminação	12,935	14,110	14,461	16,861	13,719	14,520	13,033	15
Condutibilidade térmica do reboco interior e cobertura	0,424	0,468	0,487	0,456	0,479	0,524	0,529	0,1

• 4 renovações horárias

Neste ponto também é realizada uma análise aos perfis de consumo anuais para os casos de 25 e 500 amostras mas com uma ventilação de 4 renovações horárias.

✓ Caso de 25 amostras

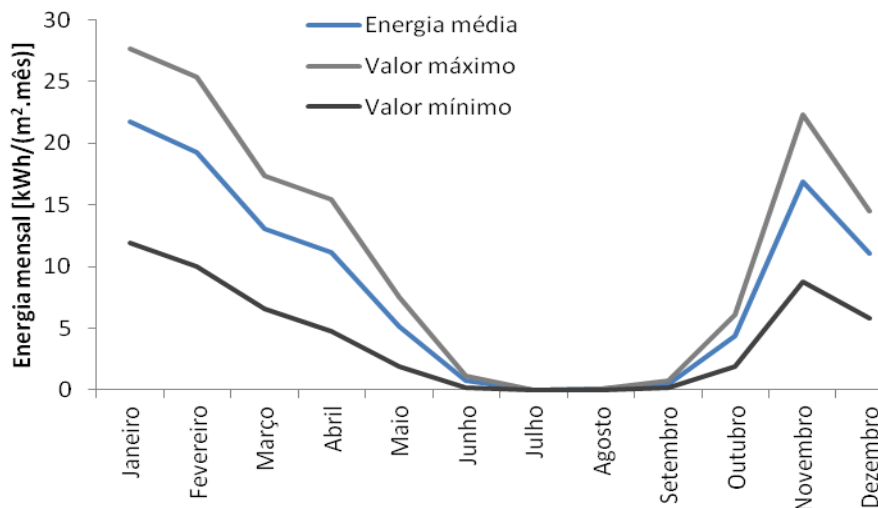


Figura 4-15: Perfil de consumo da energia anual para o caso de 25 amostras com 4 renovações horárias

A Figura 4-15 representa o perfil de consumo de energia anual das salas de aula obtido para o caso de 25 amostras com uma ventilação de 4 renovações horárias.

A diferença entre o perfil do consumo obtido de energia média das salas de aula para o caso de 25 de simulações com uma ventilação 2 renovações horárias (Figura 4-11) e o de 4 renovações horárias é que o valor da energia média de cada mês que é mais elevado para o caso da ventilação de 4 renovações horárias. Adicionalmente, verifica-se que o coeficiente de

variação das análises para 4 renovações horárias é tendencialmente mais elevado do que no cenário de 2 renovações.

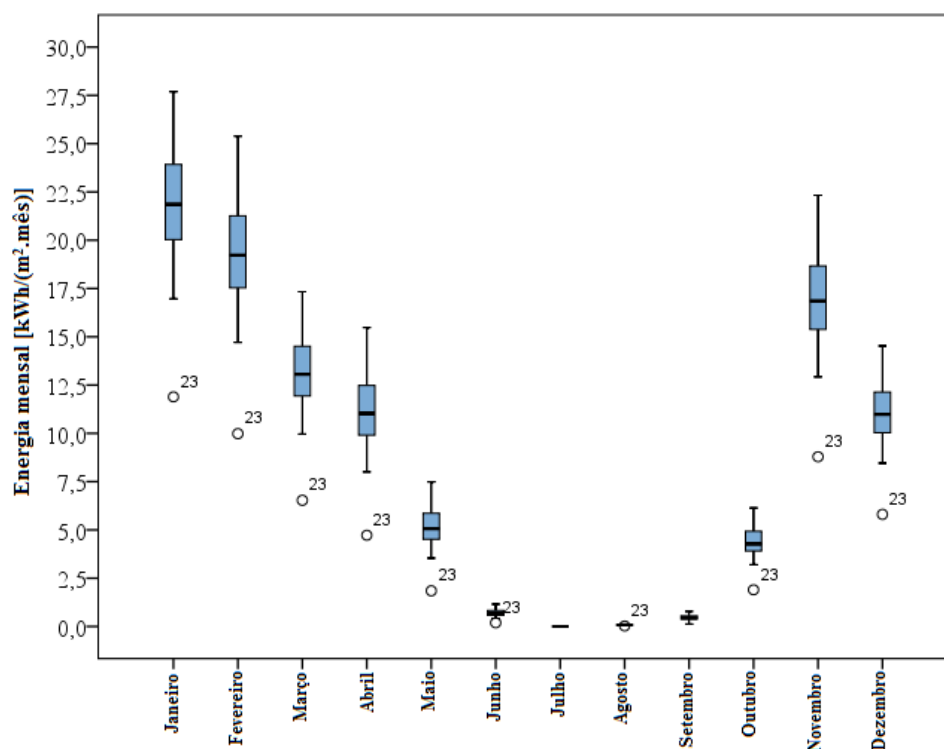


Figura 4-16: Box-plot da energia mensal durante um ano para 25 amostras e uma ventilação de 4 renovações horárias

Tal como acontece na Figura 4-14, a Figura 4-16 representa as box-plots da energia mensal durante um ano, só que agora considerando uma ventilação de 4 renovações horárias.

Ao observar a Figura 4-16 pode-se verificar que neste caso com ventilação de 4 renovações horárias, aparece apenas um outlier, na parte inferior da box-plot, que está diretamente relacionado com os valores das variáveis do ficheiro de entrada número 23 utilizado na simulação térmica, que estão representados no Quadro 4-9.

Mais uma vez, ao analisar o Quadro 4-9, verifica-se que o valor da ventilação é bastante baixo em relação ao valor da ventilação utilizado nos outros caso de simulação, o que vai fazer com que o valor da energia das salas de aula também seja mais reduzido, devido à relação linear entre a energia das salas de aula e a ventilação.

Quadro 4-9: Valores das variáveis do outlier 23

Variáveis	Outlier 23	Caso base
Densidade de pessoas	0,1059	0,1
Atividade metabólica	99,0629	94,275
Ventilação	1,0274	4
Iluminação	16,5156	15
Condutibilidade térmica do reboco interior e cobertura	0,4870	0,5

✓ Caso de 500 amostras

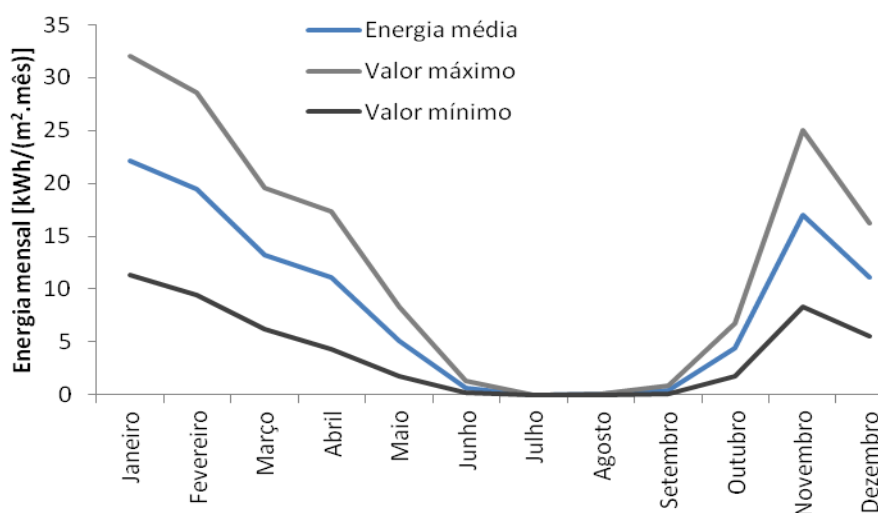


Figura 4-17: Perfil de consumo da energia anual para o caso de 500 amostras com 4 renovações horárias

A Figura 4-17 representa o perfil de consumo de energia anual das salas de aula obtido para o caso de 25 simulações para uma ventilação de 4 renovações horárias.

O perfil obtido da energia média para este caso é muito idêntico ao do caso da Figura 4-15. Tal como aconteceu para o estudo das 2 renovações horárias, para os dois tipos de amostragem, verifica-se que o caso das 500 amostras se aproxima mais dos valores obtidos para a energia mensal do caso base (4 renovações horárias), revelando maior exatidão na previsão do resultado.

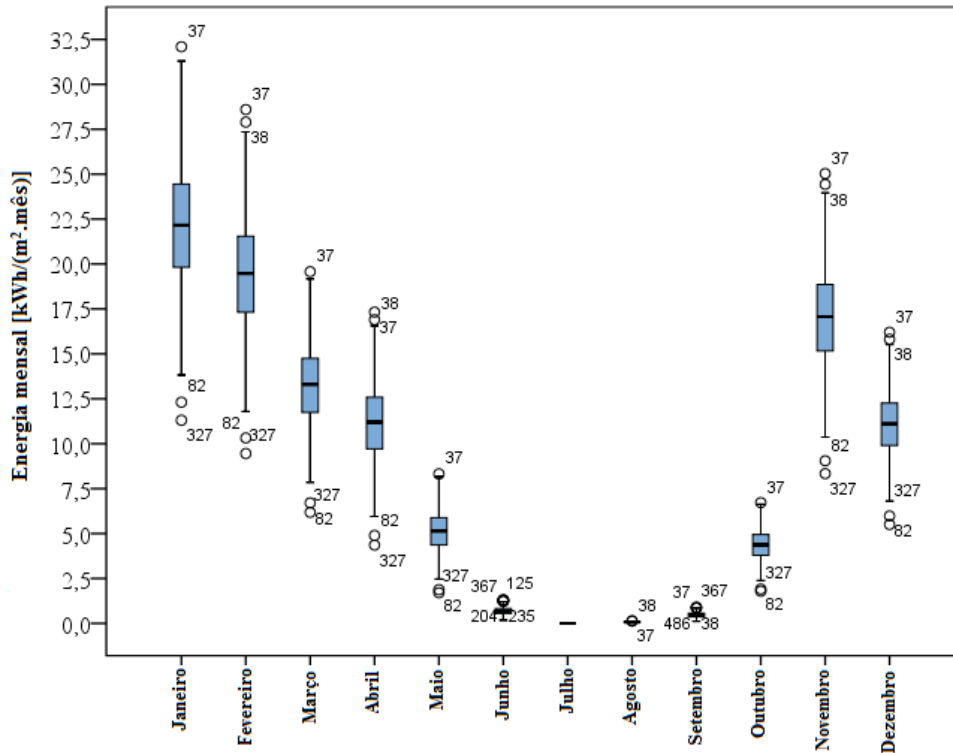


Figura 4-18: Box-plot da energia mensal durante um ano para 500 amostras e uma ventilação de 4 renovações horárias

Na Figura 4-18 observam-se as box-plots da energia mensal das salas de aula durante um ano para uma ventilação de 4 renovações horárias, podendo assim ser analisado o intervalo de valores da energia das salas de aula, obtidos no caso das 500 simulações, para cada mês.

Tal como aconteceu no caso das 500 amostras com uma ventilação de 2 renovações horárias, verifica-se que existe mais do que um outlier na box-plot de cada mês. Tal como explicado anteriormente este acontecimento está relacionado com o elevado número de simulações (500 amostras) que permite cobrir melhor todo o espaço das variáveis.

Os valores das variáveis que geraram os outliers estão apresentados no Quadro 4-10. Pode-se verificar que os valores da ventilação dos vários outliers são valores demasiado baixos ou altos em relação a todos os outros utilizados, o que vai ter influência nos respetivos valores da energia.

Quadro 4-10: Valores das variáveis dos diferentes outliers

Variáveis	Outlier									Caso base
	37	38	82	125	204	235	327	367	486	
Densidade de pessoas	0,109	0,082	0,107	0,088	0,108	0,087	0,077	0,094	0,095	0,1
Atividade metabólica	85,407	107,844	89,088	82,046	92,731	84,903	86,440	92,333	100,188	94,275
Ventilação	2,521	2,040	2,421	2,698	1,764	1,528	2,065	2,202	2,907	4
Iluminação	17,444	15,826	17,656	12,893	11,020	12,509	16,063	14,378	13,441	15
Condutibilidade térmica do reboco interior e cobertura	0,426	0,507	0,475	0,576	0,441	0,514	0,506	0,526	0,562	0,1

No Quadro 4-11 estão apresentados os valores da percentagem de erro da média mensal para os dois tipos de ventilação.

Quadro 4-11: Percentagens de erro da energia média mensal para vários casos de simulação

		% Erro				
		25	50	100	200	500
2 RPH	Janeiro	0,050	0,001	0,032	0,009	0,032
	Fevereiro	0,067	0,004	0,043	0,015	0,015
	Março	0,111	0,019	0,070	0,039	0,010
	Abril	0,120	0,019	0,075	0,037	0,023
	Maió	0,525	0,347	0,420	0,362	0,290
	Junho	1,654	1,411	1,462	1,330	1,227
	Julho	0	0	0	0	0
	Agosto	1,675	1,560	1,570	1,490	1,421
	Setembro	2,190	2,022	2,011	1,882	1,811
	Outubro	0,398	0,234	0,311	0,254	0,194
	Novembro	0,105	0,036	0,078	0,051	0,006
	Dezembro	0,063	0,002	0,038	0,011	0,032
4 RPH	Janeiro	1,723	0,060	1,350	1,415	0,023
	Fevereiro	1,013	0,061	0,624	0,693	0,021
	Março	1,220	0,045	0,824	0,894	0,001
	Abril	0,508	0,050	0,051	0,134	0,000
	Maió	0,413	0,158	0,860	0,780	0,213
	Junho	1,906	1,903	2,192	2,056	1,898
	Julho	0	0	0	0	0
	Agosto	1,837	0,732	2,179	2,138	0,763
	Setembro	1,810	1,862	2,090	1,983	1,898
	Outubro	1,810	1,862	2,090	1,983	1,898
	Novembro	0,801	0,055	0,414	0,481	0,009
	Dezembro	0,738	0,059	0,355	0,424	0,019

Como anteriormente apenas foi analisado o mês de janeiro para as 25 simulações com uma ventilação de 2 e 4 renovações horárias, é apresentada o Quadro 4-11 de maneira a ser possível comparar a percentagem de erro das várias simulações mensais.

Através desse quadro pode-se verificar a percentagem de erro da energia média mensal, em relação ao caso base de cada mês, para as várias simulações realizadas. Este quadro permite sintetizar todos os resultados obtidos.

Analisando os valores do quadro podem retirar-se as seguintes ilações:

- Globalmente os erros são bastante baixos. O valor máximo de erro foi de 2,192 % e ocorreu no mês de Junho, para a amostra de 100 casos e no cenário de 4 renovações horárias;
- Os erros no cenário de 4 renovações horárias são ligeiramente superiores aos obtidos para 2 renovações horárias. Efetivamente este cenário apresenta uma maior variabilidade de resultados como pode ser constatado pelos respetivos valores do coeficiente de variação;
- Uma análise rápida parece indicar que o erro diminui com o aumento da dimensão da amostra. Esta análise de convergência será detalhada no ponto 4.3 desta dissertação.

4.2.3 Energia anual

Neste subcapítulo pretende-se analisar como se comporta a energia anual das salas de aula.

São apresentados alguns gráficos de maneira a ajudar na análise dos resultados obtidos.

Apresentar-se-á ainda uma matriz dos diagramas de dispersão das variáveis de estudo para os casos de simulação, considerando-se este tipo de diagrama interessante, uma vez que permite verificar visualmente eventuais correlações entre os vários parâmetros.

Tal como no caso da análise mensal, são apenas apresentados os gráficos referentes à energia anual, para as amostras de 25 e 500 casos, referentes aos dois cenários de ventilação (2 h^{-1} e 4 h^{-1}).

• 2 renovações horárias

Neste ponto é analisado o comportamento da energia anual das salas de aula para um caso de 25 e 500 amostras com uma ventilação de 2 renovações horárias.

✓ Caso de 25 amostras

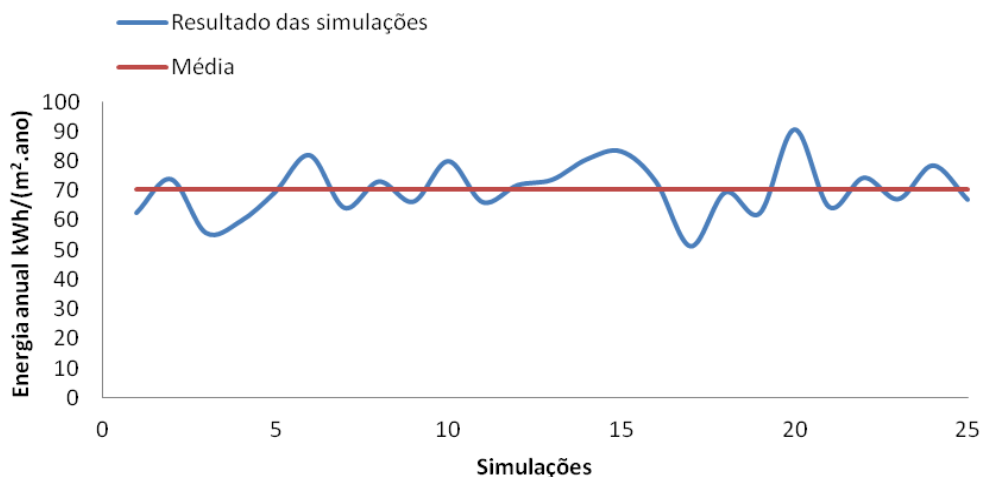


Figura 4-19: Energia anual das salas de aula para o caso de 25 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias

Como se pode constatar na Figura 4-19 existe uma grande variabilidade da energia anual nas salas de aula ao longo das 25 simulações, apresentando uma energia média anual de 70,335 kWh/(m².ano). O Quadro 4-12 apresenta alguns dados estatísticos relativos às 25 simulações para uma ventilação de 2 renovações horárias.

Quadro 4-12: Análise estatística da energia anual para uma ventilação de 2 renovações horárias

Indicador estatístico	
Média	70,335
Mediana	69,388
Desvio padrão	9,130
Máximo	90,703
Mínimo	51,028
Coefficiente de assimetria	0,086
Coefficiente de variação	12,981

4 - Resultados

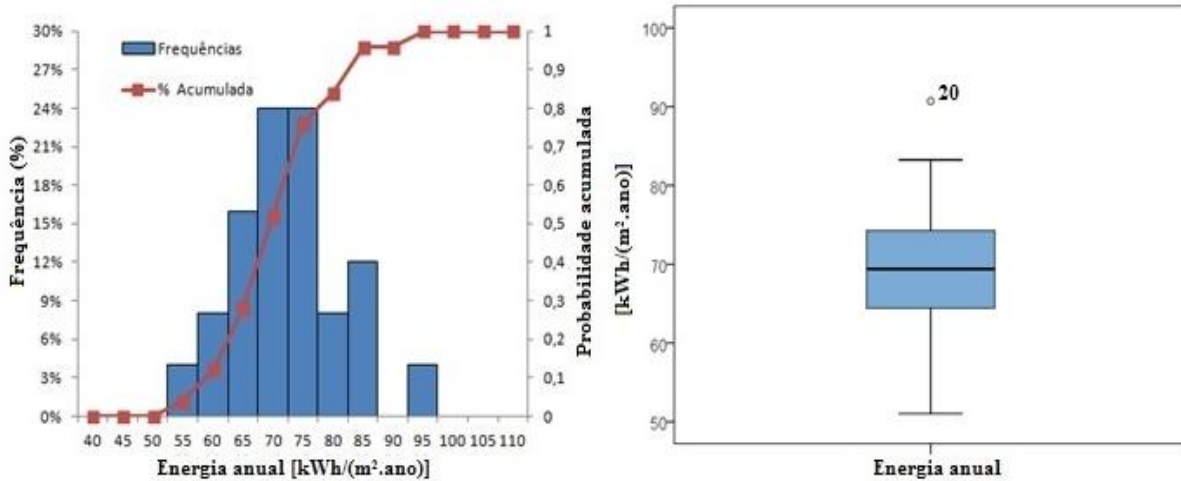


Figura 4-20: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia anual das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias

Na Figura 4-20 está representado o histograma da energia anual das salas de aula para as 25 amostras, sendo possível verificar que os valores da energia anual que ocorrem com maior frequência encontram-se entre os 65 e 75 kWh/(m².ano).

Os valores da energia anual das salas de aula seguem uma distribuição normal, uma vez que ao recorrer ao mesmo método utilizado nas análises anteriores o p-valor obtido foi de 0,960, o que significa que os valores da energia anual para 25 simulações e uma ventilação de 2 renovações horárias também seguem o mesmo tipo de distribuição.

A distribuição dos valores da energia anual é muito ligeiramente enviesada à esquerda devido ao valor do coeficiente de assimetria.

Da análise dos resultados pode dizer-se que o valor médio de consumo é de 70,335 kWh/(m².ano) e que em 80% dos casos esse valor estará abaixo de 75 kWh/(m².ano), aproximadamente.

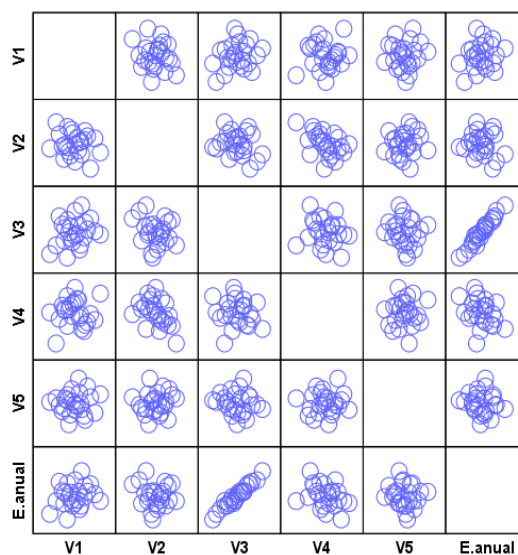


Figura 4-21: Matriz dos diagramas de dispersão das variáveis de estudo para o caso de 25 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias

Na Figura 4-21 é apresentada a matriz dos diagramas de dispersão dos parâmetros de entrada e de saída em estudo, onde se pode verificar que existe apenas uma forte relação linear entre a energia anual (E. anual) e a ventilação (V3) (R^2 de aproximadamente de 0,980), ou seja, à medida que os valores de ventilação aumentam, as necessidades anuais de energia para aquecimento das salas de aula também aumentam proporcionalmente.

Todas as outras relações entre parâmetros apresentam uma grande dispersão de valores, não evidenciando qualquer correlação ou tendência especial

No Quadro 4-13 são apresentados os resultados da análise de correlação, onde se podem observar os valores de R^2 , indicador utilizado para avaliar a existência de uma correlação entre os vários parâmetros. Apenas se regista uma correlação estatisticamente significativa entre a ventilação e as necessidades anuais de energia para aquecimento.

Quadro 4-13: Resultados da análise de correlação (R^2)

	V1	V2	V3	V4	V5	E.anual
V1	1					
V2	-0,182	1				
V3	0,247	-0,241	1			
V4	0,072	-0,465	-0,132	1		
V5	0,066	0,110	-0,130	0,065	1	
E.anual	0,222	-0,135	0,980	-0,326	-0,118	1

✓ Caso de 500 amostras

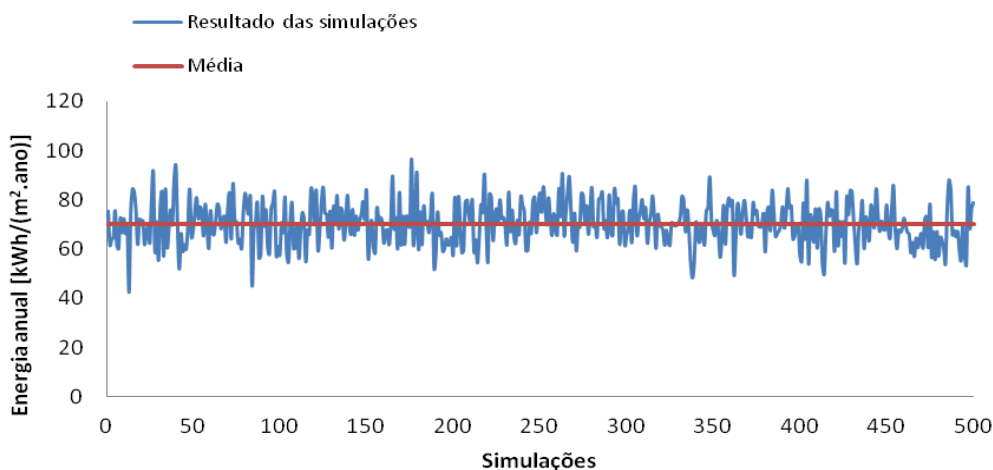


Figura 4-22: Energia anual das salas de aula para o caso de 500 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias

Ao observar a Figura 4-22 verifica-se a existência de uma grande variabilidade da energia anual nas salas de aula ao longo das 500 simulações, apresentando uma energia média anual de 70,255 kWh/(m².ano). O valor obtido para este caso de amostra foi mais aproximado do caso base em relação ao obtido no estudo para as 25 amostras.

O Quadro 4-14 apresenta alguns dados estatísticos relativos às 500 simulações para uma ventilação de 2 renovações horárias.

Quadro 4-14: Análise estatística da energia anual para uma ventilação de 2 renovações horárias

Indicador estatístico	
Média	70,255
Mediana	69,986
Desvio padrão	8,652
Máximo	96,523
Mínimo	42,510
Coeficiente de assimetria	0,022
Coeficiente de variação	12,315

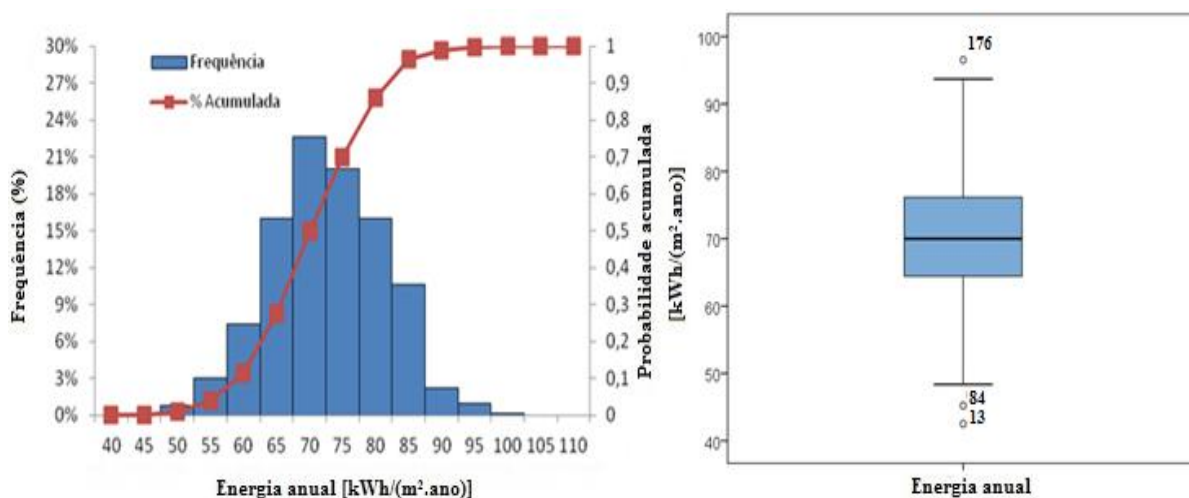


Figura 4-23: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia anual das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias

Na Figura 4-23 pode-se verificar que os valores da energia anual que ocorrem com mais frequência encontram-se entre 65 e 70 kWh/(m².ano).

Tal como acontece com os valores energia anual para o caso da 500 amostras e uma ventilação de 2 renovações horárias, neste caso também seguem uma distribuição normal visto que o p-valor obtido no teste de Kolmogorov-Smirnov, sem correção de Lilliefors, foi de 0,833.

Como este caso apresenta um coeficiente de assimetria positivo (0,022), significa que a distribuição é muito ligeiramente enviesada esquerda.

Da análise dos resultados pode dizer-se que o valor médio de consumo é de 70,225 kWh/(m².ano) e que em 80% dos casos esse valor estará abaixo de 75 kWh/(m².ano), aproximadamente.

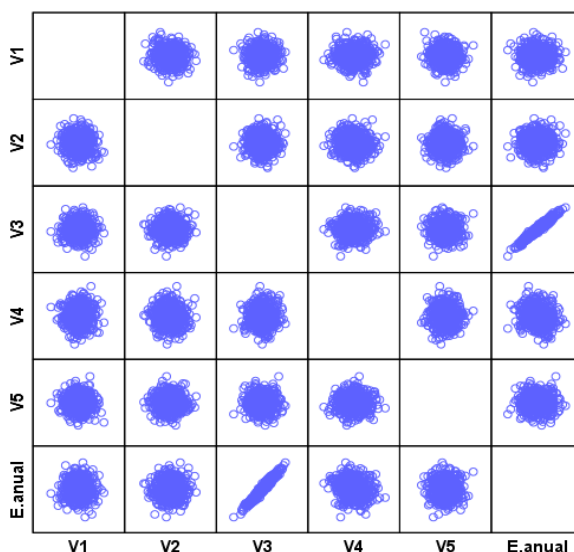


Figura 4-24: Matriz dos diagramas de dispersão das variáveis de estudo para o caso de 25 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias

Na Figura 4-24 é apresentada a matriz dos diagramas de dispersão dos parâmetros de entrada e de saída em estudo, onde se pode verificar, mais uma vez, que existe apenas uma relação linear entre a energia anual (E. anual) e a ventilação (V3), tal como foi verificado na análise da Figura 4-21.

No Quadro 4-15 são apresentados os resultados da análise de correlação, onde se pode verificar os valores do indicador R^2 . Comparativamente com o caso das 25 amostras, o valor de R^2 neste caso das 500 simulações, relativamente à correlação entre a ventilação e as necessidades anuais de energia para aquecimento, ainda se aproximou mais de 1.

Quadro 4-15: Resultados da análise de correlação (R^2)

	V1	V2	V3	V4	V5	E.anual
V1	1					
V2	-0,057	1				
V3	0,019	0,041	1			
V4	0,034	-0,070	0,052	1		
V5	-0,063	0,026	-0,015	0,016	1	
E.anual	0,010	0,056	0,977	-0,162	0,002	1

• **4 renovações horárias**

Neste ponto também será realizada uma análise ao comportamento da energia anual das salas de aula para os casos de 25 e 500 amostras mas com uma ventilação de 4 renovações horárias.

✓ Caso de 25 amostras

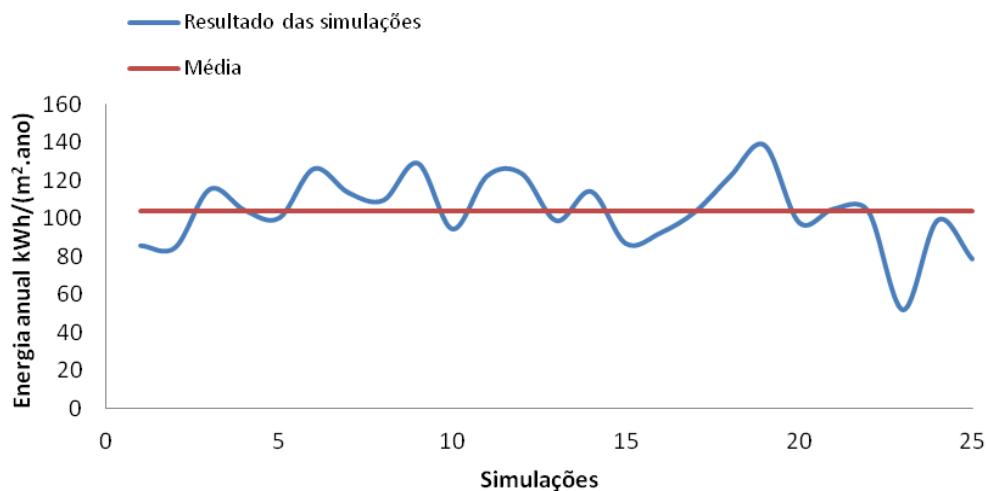


Figura 4-25: Energia anual das salas de aula para o caso de 25 simulações e uma ventilação de 4 renovações horárias

Como se pode verificar através da análise da Figura 4-25 existe uma grande variabilidade da energia anual ao longo das 25 simulações, apresentando uma energia média de 103,899 kWh/(m².ano) para uma ventilação de 4 renovações horárias.

No Quadro 4-16 podem ser observados alguns dados estatísticos relativos a essas 25 simulações.

Quadro 4-16: Análise estatística da energia anual para uma ventilação de 4 renovações horárias

Indicador estatístico	
Média	103,899
Mediana	103,547
Desvio padrão	18,687
Máximo	138,404
Mínimo	51,819
Coefficiente de assimetria	-0,618
Coefficiente de variação	17,986

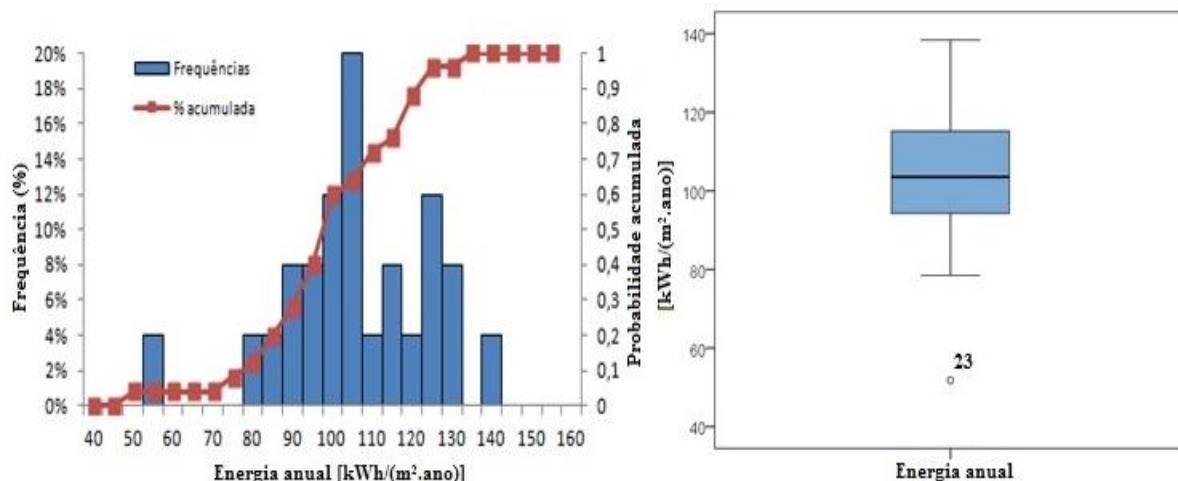


Figura 4-26: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia anual das salas de aula para uma ventilação de 4 renovações horárias

A partir da análise do histograma da Figura 4-26 pode-se verificar que caso os valores da energia anual que ocorrem com mais frequência encontram-se entre os 105 e 110 kWh/(m².ano).

Verificou que os valores da energia anual seguem uma distribuição normal para uma ventilação de 4 renovações horárias, visto que o p-valor obtido através do teste Kolmogorov-Smirnov, sem correção de Lilliefors, foi de 0,975.

Os valores da energia anual para uma ventilação de 4 renovações horárias, apresenta uma distribuição muito ligeiramente enviesada à direita (coeficiente de assimetria de -0,618).

Da análise dos resultados pode dizer-se que o valor médio de consumo é de 103,899 kWh/(m².ano) e que em 80% dos casos esse valor estará abaixo de 115 kWh/(m².ano), aproximadamente.

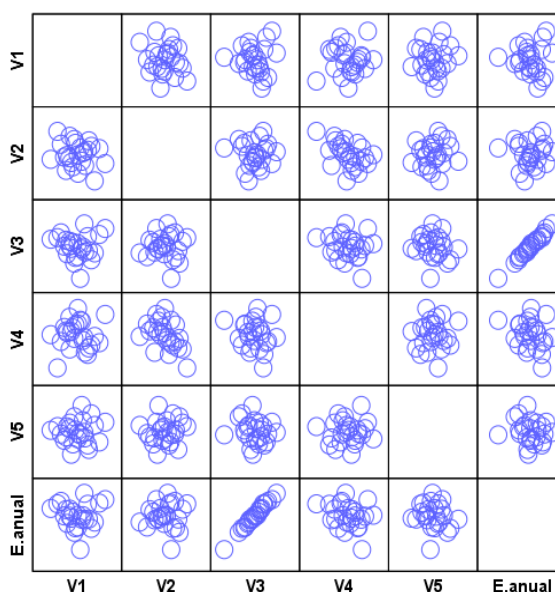


Figura 4-27: Matriz dos diagramas de dispersão das variáveis de estudo para o caso de 25 simulações com uma ventilação de 4 renovações horárias

Na Figura 4-27 é apresentada a matriz dos diagramas de dispersão dos parâmetros de entrada e de saída para 25 amostras e uma ventilação de 4 renovações horárias. Tal como foi verificado no resultado obtido das 25 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias existe uma relação linear entre a energia anual (E. anual) e a ventilação (V3).

No Quadro 4-17 são apresentados os resultados da análise de correlação. O valor de R^2 obtido para a relação entre a ventilação e as necessidades anuais de energia para aquecimento foi de 0,995, o que mostra a forte relação linear entre os dois parâmetros.

Quadro 4-17: Resultados da análise de correlação (R^2)

	V1	V2	V3	V4	V5	E.anual
V1	1					
V2	-0,182	1				
V3	-0,012	-0,010	1			
V4	0,072	-0,465	-0,170	1		
V5	0,066	0,110	-0,163	0,065	1	
E.anual	-0,024	0,035	0,995	-0,265	-0,160	1

✓ **Caso de 500 amostras**

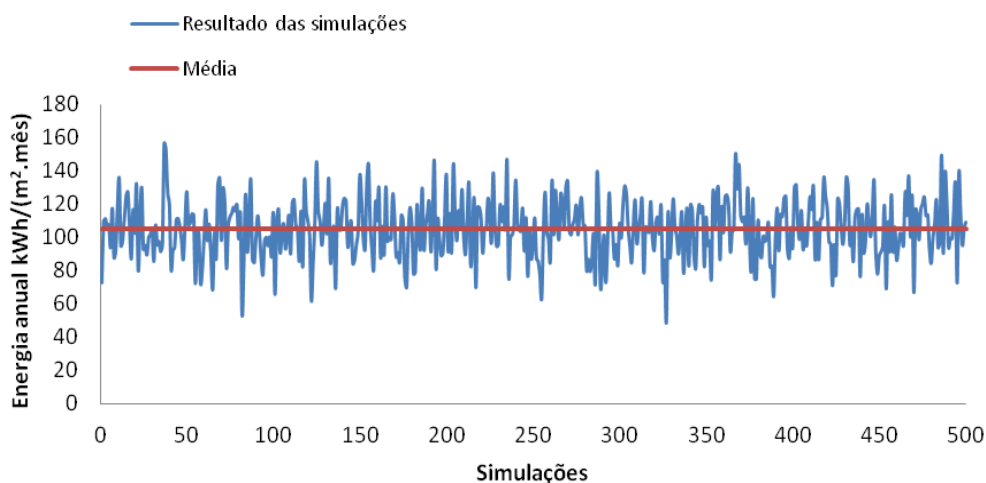


Figura 4-28: Energia anual das salas de aula para o caso de 500 simulações e uma ventilação de 4 renovações horárias

Como se pode verificar através da análise da Figura 4-28 existe uma grande variabilidade da energia anual ao longo das 500 simulações, apresentando uma energia média de 104,899 kWh/(m².ano) para uma ventilação de 4 renovações horárias.

No Quadro 4-18 podem ser observados alguns dados estatísticos relativos a essas 500 simulações.

Quadro 4-18: Análise estatística da energia anual para uma ventilação de 4 renovações horárias

Indicador estatístico	
Média	104,889
Mediana	105,131
Desvio padrão	17,485
Máximo	156,210
Mínimo	48,959
Coefficiente de assimetria	0,007
Coefficiente de variação	16,670

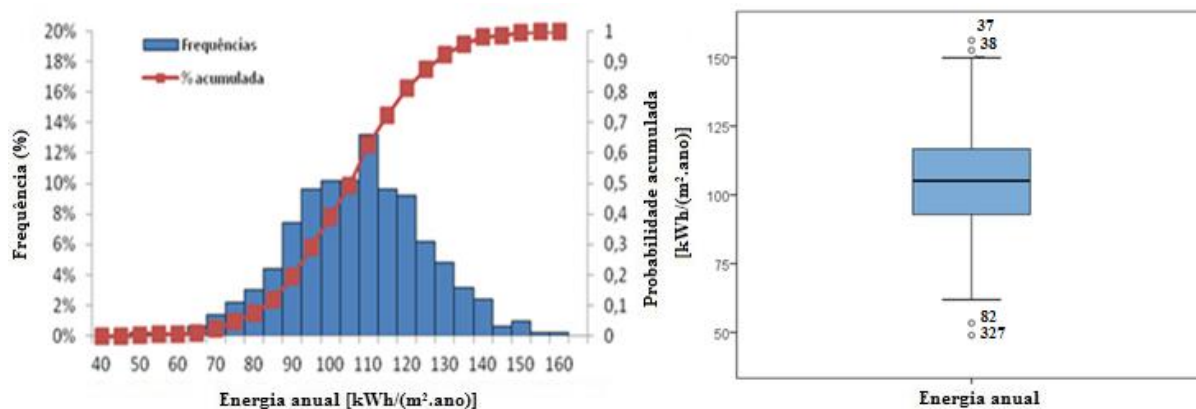


Figura 4-29: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia anual das salas de aula para uma ventilação de 4 renovações horárias

A partir da análise do histograma da Figura 4-29 pode-se verificar que caso os valores da energia anual que ocorrem com mais frequência encontram-se entre os 110 e 115 kWh/(m².ano).

Tal como acontece com valores da energia anual obtidos no caso das 25 simulações com uma ventilação 4 renovações horárias, os valores obtidos para este caso seguem uma distribuição normal, visto que o p-valor obtido foi de 1.

Os valores da energia anual de 4 renovações horárias, apresenta uma distribuição muito ligeiramente enviesada à esquerda (coeficiente de assimetria de 0,007).

Da análise dos resultados pode dizer-se que o valor médio de consumo é de 104,889 kWh/(m².ano) e que em 80% dos casos esse valor estará abaixo de 115 kWh/(m².ano), aproximadamente.

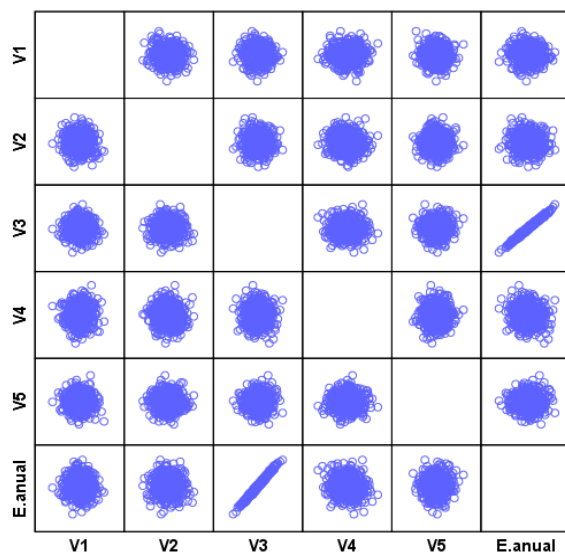


Figura 4-30: Matriz dos diagramas de dispersão das variáveis de estudo para o caso de 25 simulações com uma ventilação de 4 renovações horárias

Na Figura 4-30 é apresentada a matriz dos diagramas de dispersão dos parâmetros de entrada e de saída para 500 simulações e uma ventilação de 4 renovações horárias. Tal como foi verificado na Figura 4-27, existe uma muito forte relação linear entre a energia anual (E. anual) e a ventilação (V3).

No Quadro 4-19 são apresentados os resultados da análise de correlação entre os vários parâmetros. Verifica-se que o valor de R^2 obtido na relação entre a ventilação e as necessidades anuais de energia para aquecimento foi aproximado ao valor observado para o caso das 25 simulações e uma ventilação de 4 renovações horárias.

Quadro 4-19: Resultados da análise de correlação (R^2)

	V1	V2	V3	V4	V5	E.anual
V1	1					
V2	-0,057	1				
V3	-0,073	-0,036	1			
V4	0,034	-0,070	-0,018	1		
V5	-0,063	0,026	0,050	0,016	1	
E.anual	-0,076	-0,029	0,994	-0,124	0,058	1

Síntese crítica

De maneira a ser possível comparar os valores da energia anual obtidos para os vários casos de amostras, no Quadro 4-20 estão apresentadas as percentagens de erro de cada caso em relação ao caso base para os dois cenários de ventilação (2 h^{-1} e 4 h^{-1}).

Quadro 4-20: Percentagens de erro da energia média anual para vários casos de simulação

	% Erros				
	25	50	100	200	500
2 RPH	0,128	0,049	0,093	0,062	0,014
4 RPH	0,914	0,014	0,520	0,591	0,030

Analisando os valores do quadro podem retirar-se as seguintes ilações:

- Globalmente os erros são bastante baixos. O valor máximo de erro foi de 0,914 % e ocorreu para a amostra de 25 casos e no cenário de 4 renovações horárias;
- Os erros no cenário de 4 renovações horárias são ligeiramente superiores aos obtidos para 2 renovações horárias. Confirma-se que este cenário apresenta uma maior variabilidade de resultados;
- Mais uma vez uma análise rápida parece indicar que o erro diminui com o aumento da dimensão da amostra.

4.3 Estudo da convergência

Neste subcapítulo pretende-se analisar a convergência da média e o desvio padrão da energia média anual das salas. Para tal, comparam-se os resultados obtidos, e os respetivos erros, nas amostras de diferentes dimensões. Foram geradas amostras de 25, 50, 100, 200 e 500 casos, através do método Hipercubo Latino, para uma ventilação 2 e 4 renovações horárias.

4.3.1 Estudo da energia mensal

• 2 renovações horárias

Para uma ventilação de 2 renovações horárias a energia de janeiro das salas de aula é de 15,404 kWh/(m².mês) para o caso base.

No Quadro 4-21 estão representados os valores da energia média anual e do desvio padrão dos vários casos gerados para as 2 renovações horárias.

Quadro 4-21: Média e desvio padrão da energia média de janeiro para uma ventilação de 2 renovações horárias

Casos	Energia média de janeiro [kWh/(m ² .mês)]	Desvio padrão [kWh/(m ² .mês)]
25	15,409	1,694
50	15,404	1,774
100	15,409	1,694
200	15,405	1,682
500	15,399	1,677

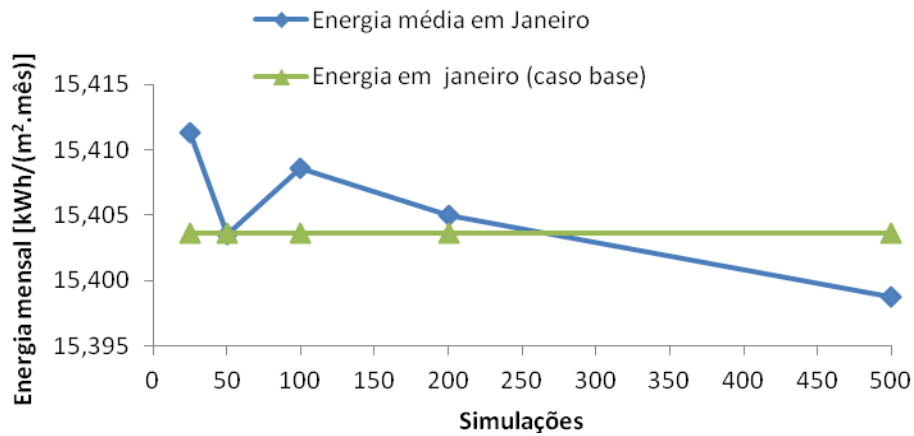


Figura 4-31: Energia média nas salas de aula no mês de Janeiro para uma ventilação de 2 renovações horárias

Através da visualização da Figura 4-31 verifica-se que os valores da energia média de Janeiro das salas de aula variam de acordo com o número de simulações efetuadas, ou seja, em função da dimensão da amostra utilizada.

É de salientar que no caso das 50 simulações o valor da energia média é de 15,404 kWh/(m².ano), aproximadamente igual à energia no caso base de janeiro.

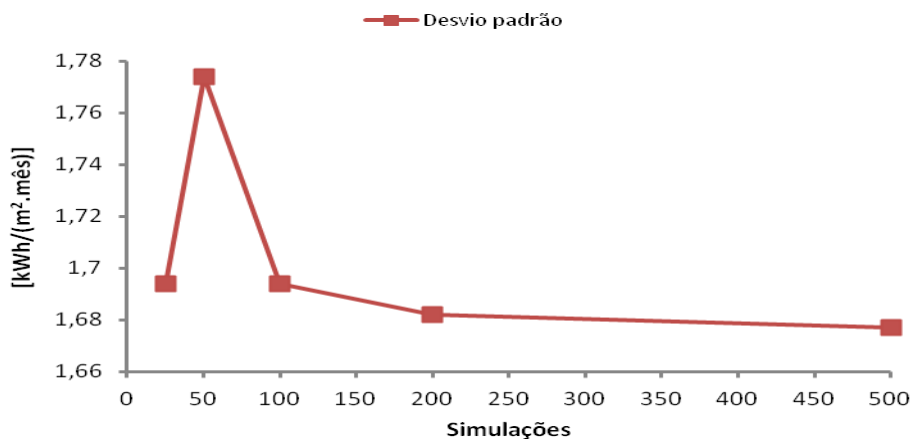


Figura 4-32: Desvio padrão da energia média anual das várias simulações para uma ventilação de 2 renovações horárias

Como se pode constatar na Figura 4-32, o valor do desvio padrão mais elevado é no caso das 50 simulações. A partir desse caso o valor do desvio padrão começa a convergir para um valor, podendo-se verificar que no caso das 200 e 500 simulações o valor do desvio padrão é muito semelhante.

• 4 renovações horárias

A energia de janeiro das salas de aula é de 22,147 kWh/(m².mês), obtida na simulação do caso base, com uma ventilação de 4 renovações horárias

Os valores da energia média e do desvio padrão do mês de janeiro, para os vários casos de simulação, com a ventilação de 4 renovações horárias, podem ser observados no Quadro 4-22.

Quadro 4-22: Média e desvio padrão da energia média de janeiro para uma ventilação de 4 renovações horárias

Casos	Energia média mensal [kWh/(m ² .mês)]	Desvio padrão [kWh/(m ² .mês)]
25	21,766	3,431
50	22,134	3,391
100	21,848	3,100
200	21,834	3,129
500	22,142	3,360

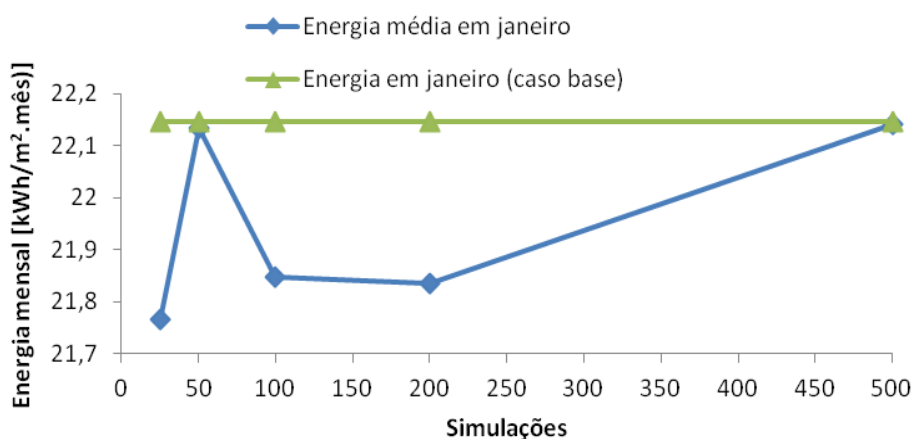


Figura 4-33: Energia média nas salas de aula no mês de Janeiro para uma ventilação de 4 renovações horárias

Como se pode verificar na Figura 4-33 os valores da energia média de janeiro das salas de aula varia de acordo com o número de simulações feitas para cada caso.

É de realçar que no caso das 50 e 500 simulações o valor da energia média mensal é muito aproximado do valor obtido para o caso base, que era, aproximadamente, de 22,147 kWh/(m².mês).

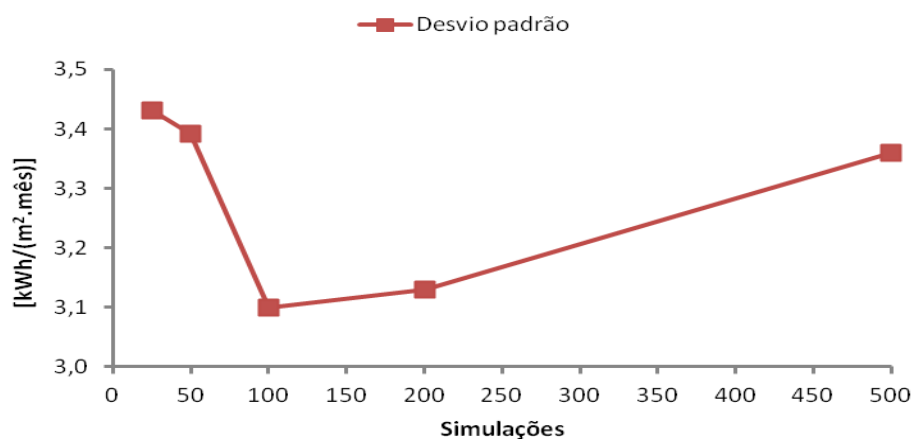


Figura 4-34: Desvio padrão da energia média anual das várias simulações para uma ventilação de 2 renovações horárias

Analisando a Figura 4-34 verifica-se que o valor do maior desvio padrão é no caso das 25 simulações e vai diminuído esse valor com o aumento do número das simulações até ao caso das 100 simulações, voltando a aumentar nos casos de 200 e 500 simulações.

4.3.2 Estudo da energia anual

• 2 renovações horárias

A energia anual das salas de aula é de 70,245 kWh/(m².ano), obtida na simulação do caso base, com uma ventilação de 2 renovações horárias.

No Quadro 4-23 estão representados os valores da média e do desvio padrão dos vários casos gerados para as 2 renovações horárias.

Quadro 4-23: Média e desvio padrão dos vários casos gerados para uma ventilação de 2 renovações horárias

Casos	Média [kWh/(m ² .ano)]	Desvio padrão [kWh/(m ² .ano)]
25	70,335	9,130
50	70,280	9,238
100	70,311	8,743
200	70,289	8,668
500	70,255	8,652

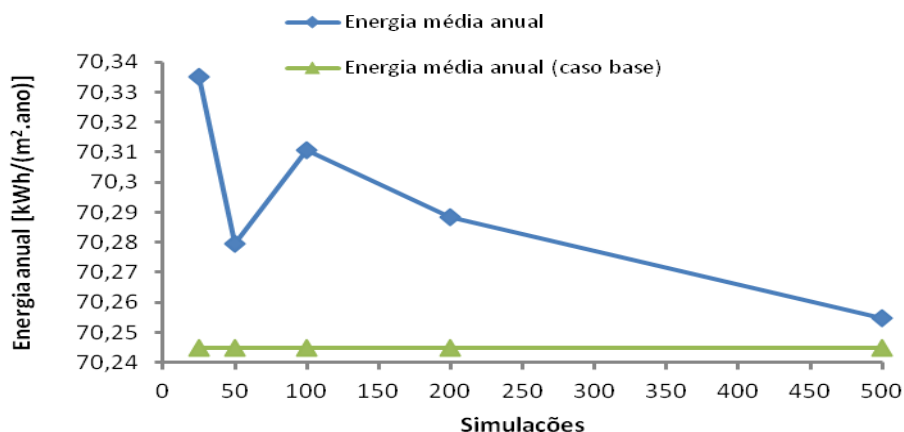


Figura 4-35: Energia média anual das salas de aula das várias simulações para uma ventilação de 2 renovações horárias

Através dos resultados apresentados na Figura 4-35, verifica-se que a média da energia anual das salas de aula é diferente para todos os casos de simulação.

Pode visualizar-se ainda, que o valor da energia média do caso das 25 simulações é o mais afastado da energia média do caso base, e que a partir das 100 simulações a energia média anual começa a convergir para o valor da energia média do caso base

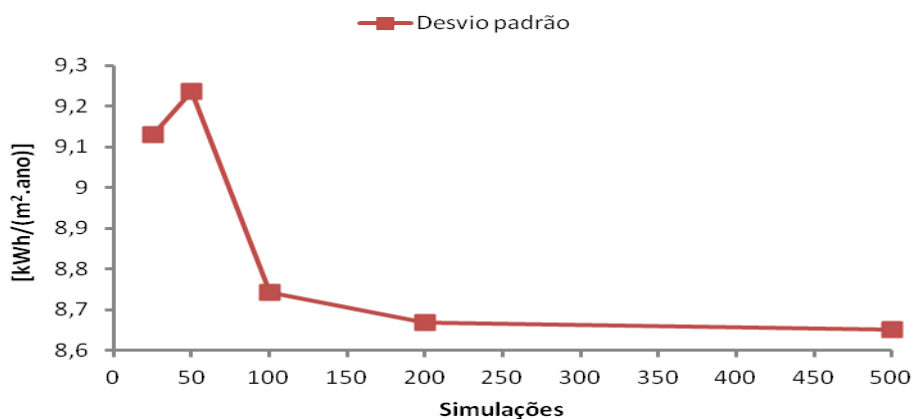


Figura 4-36: Desvio padrão da energia média anual das várias simulações para uma ventilação de 2 renovações horárias

Como se pode constatar na Figura 4-36, o valor do desvio padrão mais elevado é no caso das 50 simulações e começa a convergir para um valor.

•4 renovações horárias

Para uma ventilação de 4 renovações horárias, a energia anual das salas de aula é de 104,857 kWh/(m².ano) para o caso base.

No Quadro 4-24 estão representados os valores da energia média anual e do desvio padrão dos vários casos gerados para as 4 renovações horárias.

Quadro 4-24: Média e desvio padrão dos vários casos gerados para uma ventilação de 4 renovações horárias

Casos	Energia média anual [kWh/(m ² .ano)]	Desvio padrão [kWh/(m ² .ano)]
25	103,899	18,687
50	104,843	17,770
100	104,312	17,026
200	104,238	17,096
500	104,889	17,485

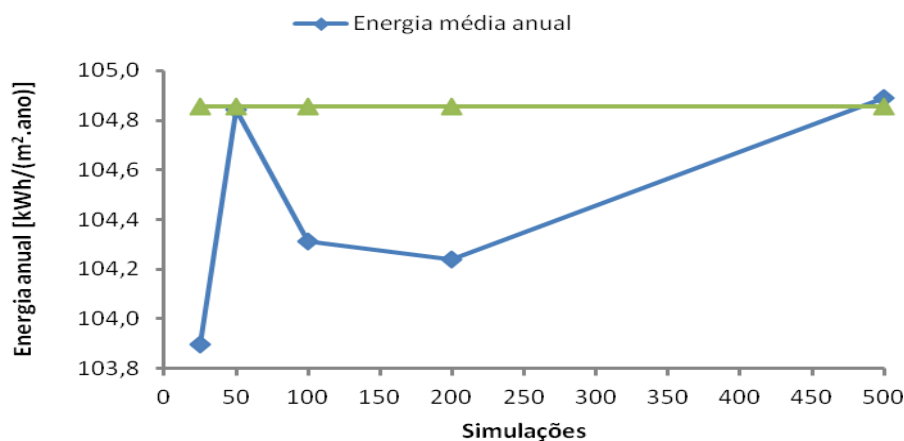


Figura 4-37: Energia média anual das salas de aula dos vários casos de simulações para uma ventilação de 4 renovações horárias

Ao analisar a Figura 4-37, verifica-se que a energia média anual do caso de 50 simulações é a que se aproxima mais da energia média anual do caso base. Nos casos das 100 e 200 simulações a energia média anual afasta-se da energia média anual do caso base, voltando a aproximar-se no caso das 500 simulações.

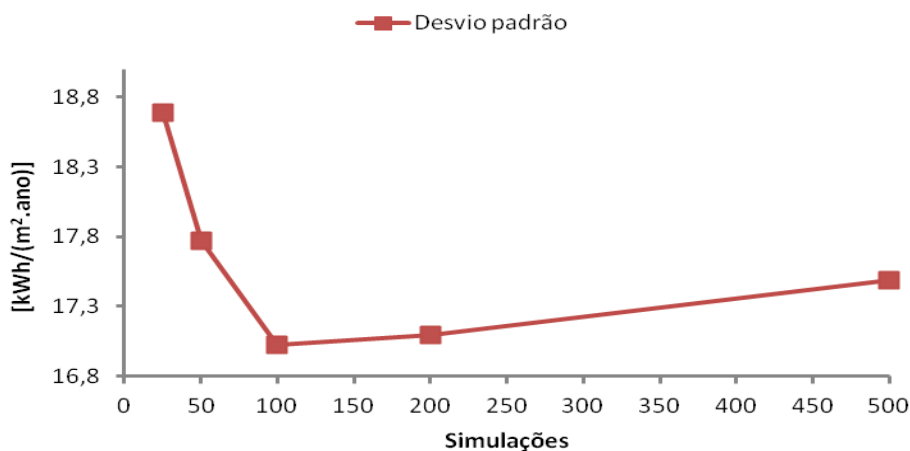


Figura 4-38 - Desvio padrão da energia média anual das várias simulações para uma ventilação de 4 renovações horárias

Analisando a Figura 4-38 verifica-se que o valor do maior desvio padrão é no caso das 25 simulações e vai diminuindo esse valor com o aumento do número das simulações até ao caso das 100 simulações, voltando a aumentar nos casos de 200 e 500 simulações.

4.4 Discussão dos resultados

A partir dos resultados obtidos nas várias simulações realizadas foi efetuada uma análise à variabilidade das necessidades energéticas para aquecimento das salas de aula. Esses resultados foram analisados quer a nível das necessidades de energia mensal, quer em termos de necessidades anuais, considerando as amostras de diferentes dimensões e dois cenários distintos de ventilação. Assim, neste estudo foram obtidos resultados probabilísticos para as necessidades de energia das salas de aula para amostras de 25, 50, 100, 200 e 500 casos, para uma ventilação de 2 e 4 renovações horárias.

Durante a análise realizada para energia mensal das salas de aula, verificou-se que existe alguma variabilidade da mesma de acordo com o número das simulações realizadas, verificando-se ainda que a energia média mensal de cada mês é bastante aproximada da energia mensal obtida para o caso base, obtendo-se assim percentagens de erro muito reduzidas. A maior percentagem de erro da energia mensal foi verificada sempre nos casos das 25 simulações, como se pode observar no Quadro 4-11.

Comparando a energia mensal obtida para os dois tipos de ventilação, verificou-se que o valor da energia mensal é maior nos casos de simulação com uma ventilação de 4 renovações horárias.

Para a análise realizada à energia anual, como seria expectável, foi verificado, através do perfil do consumo da energia anual, que os meses da estação de aquecimento têm um valor de energia mais elevado e que vai diminuindo à medida que se aproxima dos meses da estação de arrefecimento.

Após a análise dos resultados, quer da energia mensal quer da anual, verificou-se que ventilação é o parâmetro com mais influência no valor da energia das salas de aula, ou seja, existe uma correlação linear estatisticamente significativa entre esses dois parâmetros. No caso das 25 e 500 amostras obteve-se um valor de R^2 , indicador utilizado para avaliar a correlação, muito próximo de 1 (0,995 e 0,994), o que demonstra a forte relação linear existente entre os dois parâmetros.

No estudo da convergência da energia média dos casos analisados foi verificado que para os dois tipos de ventilação, os casos de 50 e 500 simulações foram os que obtiveram os valores da energia média anual mais próximo da energia anual do caso base. Foi ainda observado que a partir do caso das 100 simulações os valores da energia média anual das salas de aula começam a convergir para o valor da energia média anual do caso base. No entanto, esta convergência foi apenas verificada no estudo onde foi utilizado uma ventilação de 2 renovações horárias. Seria de esperar que este tipo de convergência também ocorresse no

4 - Resultados

cenário de 4 renovações horárias, não se conseguindo identificar uma razão para tal não ter acontecido.

5. Conclusões

5.1 Conclusões gerais

Através da elaboração deste trabalho, pretendeu-se, com a aplicação do Método de Monte Carlo, estudar a influência dos dados de entrada na simulação energética de edifícios escolares. O trabalho desenvolvido permitiu retirar as seguintes conclusões:

- O método de Monte Carlo permite estudar o efeito da variabilidade de determinados parâmetros, sendo um processo de simulação que requer grandes recursos computacionais, mas relativamente simples de ser aplicado;
- O programa de simulação EnergyPlus é uma ferramenta muito fiável e eficaz nas simulações que realiza. Apenas levanta algumas dificuldades na introdução dos dados de entrada, mas que foi colmatada com a utilização do programa DesignBuilder;
- A geração dos números aleatórios permitiu criar amostras de valores para as diferentes variáveis em estudo, possibilitando o estudo dessas variáveis perante fenómenos estocásticos;
- Simular os valores aleatórios obtidos para as diferentes variáveis em estudo permite verificar qual, ou quais, dessas variáveis têm mais influência no comportamento das salas de aula em termos de necessidades de energia para aquecimento;
- No estudo mensal verificou-se que os valores obtidos para as necessidades de energia para aquecimento das salas de aula seguem uma distribuição normal em todos os casos de simulação;
- Os valores das necessidades de energia das salas de aula são mais elevados nos meses da estação de aquecimento.
- No estudo da convergência da energia média verificou-se que nos casos onde foram utilizadas as 500 simulações o valor da energia média anual é muito aproximada do

valor obtido da energia anual do caso base, para a ventilação de 2 e 4 renovações horárias. No entanto, para 2 renovações horárias observou-se uma convergência dos resultados, enquanto no cenário de 4 renovações horárias tal não aconteceu, não se conseguindo identificar uma razão que justifique o sucedido;

- Verificou-se que ventilação é o parâmetro que tem mais peso no valor das necessidades de energia para aquecimento das salas de aula, visto que o valor de R^2 obtido na análise de correlação foi de 0,980 para o caso de 25 amostras e de 0,977 para o de 500 amostras, ambos para 2 renovações horárias; já no caso das 4 renovações horárias, foi de 0,995 para as 25 amostras e de 0,994 para as 500 amostras. Estes valores evidenciam uma correlação estatisticamente significativa entre os dois parâmetros.

5.2 Desenvolvimentos futuros

No âmbito desta dissertação onde foi aplicado o método de Monte Carlo ao estudo da influência dos dados de entrada na simulação energética de edifícios escolares, seria interessante, desenvolver outros aspetos em trabalhos futuros, tais como:

- Efetuar um estudo idêntico para avaliar a variabilidade da temperatura de conforto das salas de aula e a sua dependência dos dados de entrada;
- Analisar o efeito de outros parâmetros de entrada;
- Alargar a análise estocástica a estudos de otimização de cenários de reabilitação, baseados em análise de custos de ciclo de vida, ou seja, incluir critérios económicos na análise estocástica.

REFERÊNCIAS

Almeida, R.M.S.F. 2011. *Avaliação do Desempenho Higrotérmico do Parque Escolar Reabilitado*. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Ansi/Ashrae Standard 140-2011. *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*. ASHRAE, Atlanta, USA, (2011).

ASHRAE - American Society of Heating Refrigerating and Airconditioning Engineers. 2004. *Ansi/Ashrae Standard 62.1-2004. Ventilation for acceptable indoor air quality*. ASHRAE. Atlanta, USA.

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers. 2007. *Ansi/Ashrae Standard 90.1-2007. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. ASHRAE. Atlanta, USA.

Cartas, J.F.N. 2001. *Simulação dinâmica de um edifício de escritórios com os programas EnergyPlus e Trace 70*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Universidade Técnica de Lisboa.

Custódio, M.G.G. 2011. *Eficiência Energética em Edifícios Escolares*. Lisboa: Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Universidade Técnica de Lisboa.

Decreto de lei nº 79-2006, 2006. *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios*. Diário da República, vol. 67, 4 de Abril de 2006. Lisboa.

Decreto de lei nº 80-2006. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios* Diário da República, vol. 67, 4 de Abril de 2006. Lisboa.

EnergyPlus. 2010. *EnergyPlus Engineering Reference*. Disponível em:
<URL: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_documentation.cfm>
(Consulta em fevereiro de 2013).

Fonte, P.D.P.C.R. 2011. *Aplicação do Método de Monte Carlo em Simulações Higrotérmicas de Edifícios*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Gülkan, P. 2011. *Reforço sísmico de edifícios escolares*. Parque escolar.

Hopfe, C.J. e Hensen, J.L.M. 2011 *Uncertainty analysis in building performance simulation for design support*. Energy and Buildings, 43, pp. 2798-2809.

ISO - International Organization for Standardization. 2005. *ISO 7730 - Ergonomics of the Thermal Environment, Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using*

Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria. ISO. Genève, Switzerland.

Macdonald, I.A. 2009. *Comparison of sampling techniques on the performance of Monte-Carlo based Sensitivity Analysis. Building Simulation, 2009, pp. 992-999.*

Mróz, T.M. 2003. *Overview of Retrofitting Measures. IEA Annex 36. Retrofitting in Educational Buildings. Subtask a Report.*

Ramos, M.M.N., Simões, M.L., Delgado, J.M.P.Q. e Freitas, V.P. 2012. *Descrição das Propriedades dos Materiais para Análise Estocástica do Comportamento Higrotérmico de Edifícios. Congresso Construção 2012. Coimbra, Portugal, 2012.*

REHVA - Federação de Associações Europeias de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado. 2010. *Ambiente Interior e Eficiência Energética nas Escolas. Manual REHVA N° 13.*

Silva, A., e Rodrigues, A.M. 2012 *A Incorporação da Incerteza na Análise Térmica de Edifícios. Congresso Construção 2012. Coimbra.*

Souza, G.C.U.I. 2006. *Avaliação de Títulos Conversíveis com Opções de Compra e Venda Implícitas em Contrato. Tese para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Produção. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.*

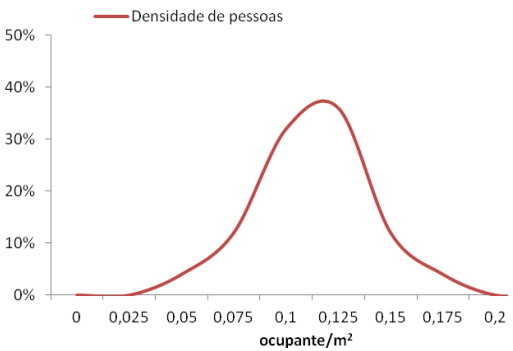
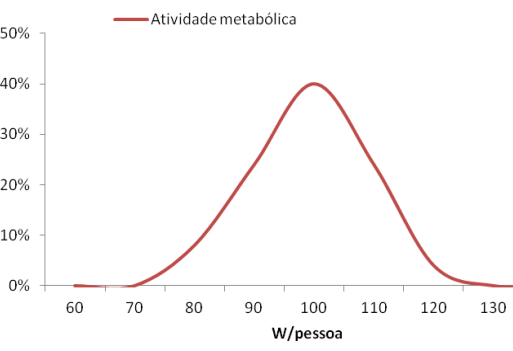
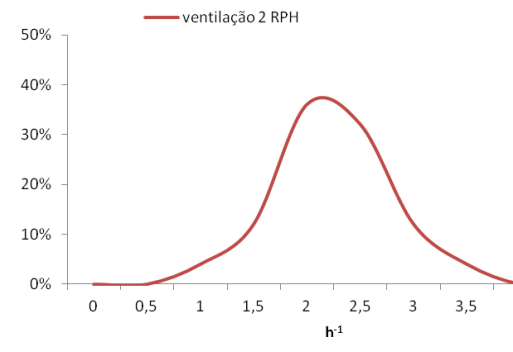
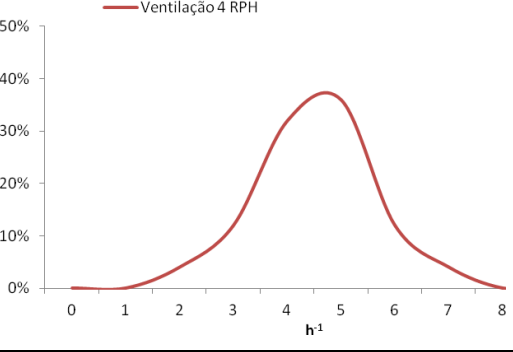
Veiga, J.M.G.C. 2008. *Métodos de Análise das Incertezas na Verificação Estrutural em Engenharia Civil. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Ciências de Engenharia. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.*

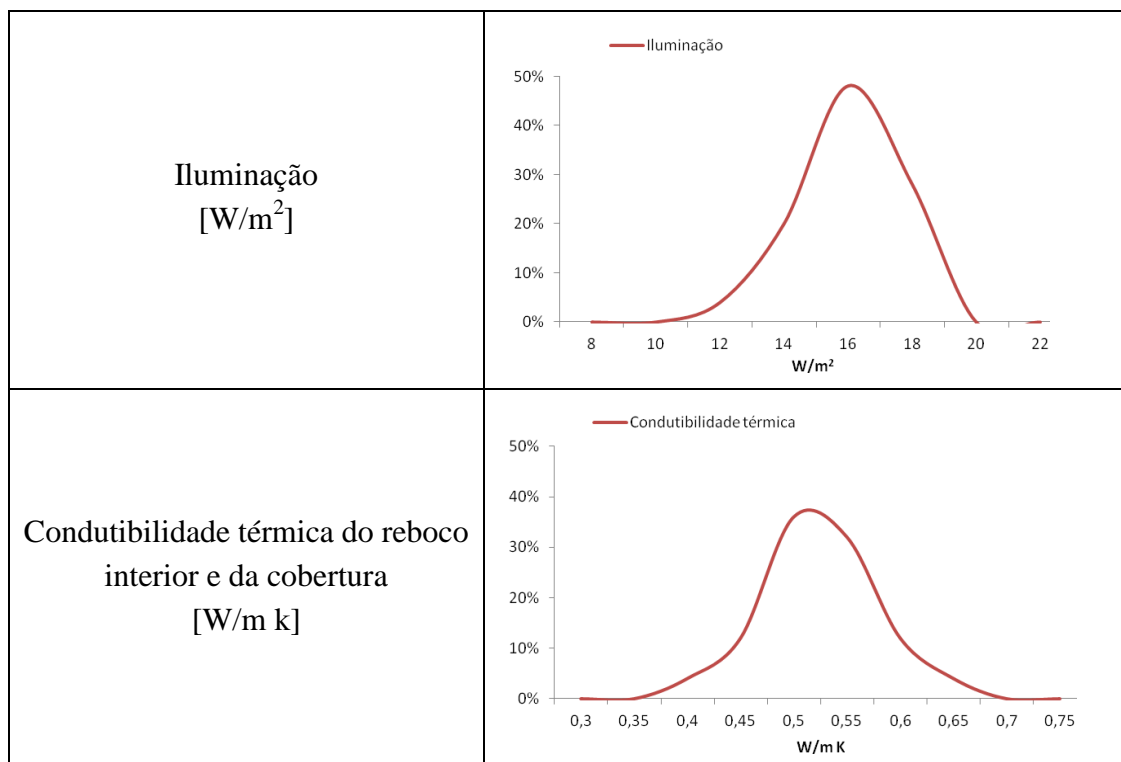
ANEXO A - NÚMEROS ALEATÓRIOS OBTIDOS PARA AS DIFERENTES VARIÁVEIS

Quadro A-1: Números aleatórios obtidos para uma amostra de 25 valores

Simulações	Densidade de pessoas	Metabolismo	Ventilação 2 RPH	Ventilação 4 RPH	Iluminação	Condutibilidade térmica do reboco interior e da cobertura
1	0,096366	102,694420	1,611682	2,962182	16,015213	0,509080
2	0,127049	100,397307	2,108596	2,738982	13,843959	0,583272
3	0,048876	90,338071	1,138476	4,631687	14,981341	0,507394
4	0,110756	95,415554	1,313777	3,923502	14,351851	0,551873
5	0,088586	87,922543	1,997486	3,787571	15,318896	0,397312
6	0,068692	101,957688	2,627061	5,234821	14,236185	0,490008
7	0,078560	81,780341	1,672941	4,556689	15,381887	0,477147
8	0,091624	84,610929	2,222293	4,345933	15,695223	0,444986
9	0,153869	87,161513	1,909202	5,627014	17,154996	0,544879
10	0,133570	73,810304	2,542780	3,378845	14,786729	0,529981
11	0,061918	111,841391	1,483454	4,782479	11,396986	0,524478
12	0,142689	98,598864	2,032895	5,078908	14,108082	0,453644
13	0,108610	88,859173	2,279925	3,737789	16,428436	0,622066
14	0,085601	108,116212	2,478989	4,438535	13,423215	0,540391
15	0,101364	79,659038	2,838208	3,037740	16,122204	0,493027
16	0,080440	93,389078	2,167110	3,289933	15,205702	0,523225
17	0,085251	91,447740	0,998345	4,057297	16,849008	0,515327
18	0,120213	97,347324	1,804036	4,880799	12,848405	0,439537
19	0,113534	96,170144	1,509030	6,063252	14,673520	0,497599
20	0,115106	85,629902	3,057578	3,466544	13,079663	0,472548
21	0,101215	93,974712	1,863735	4,228854	17,795974	0,467830
22	0,074961	92,086308	2,297091	4,004126	15,749728	0,461585
23	0,105897	99,062933	1,925542	1,027403	16,515619	0,487024
24	0,122322	104,667858	2,390239	3,582422	13,534976	0,419049
25	0,094358	105,715577	1,759918	2,438090	14,567844	0,569687

Quadro A-2: Gráficos da distribuição das variáveis para uma amostra de 25 valores

Variáveis	Gráfico da distribuição
<p>Densidade de pessoas [m²/ocupante]</p>	
<p>Atividade metabólica [W/pessoa]</p>	
<p>Ventilação 2 RPH [h⁻¹]</p>	
<p>Ventilação 4 RPH [h⁻¹]</p>	

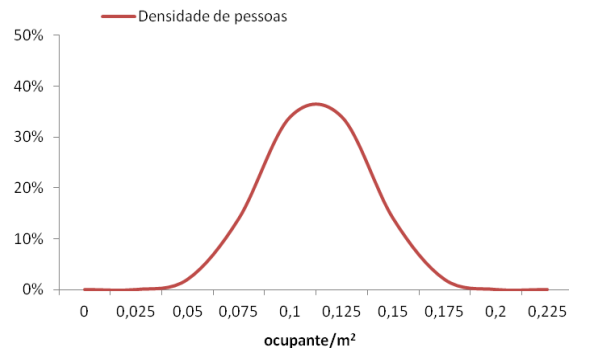
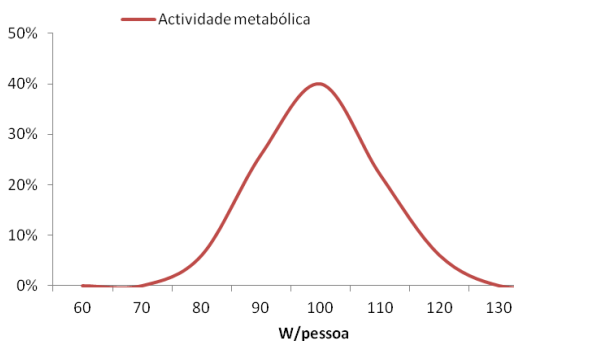
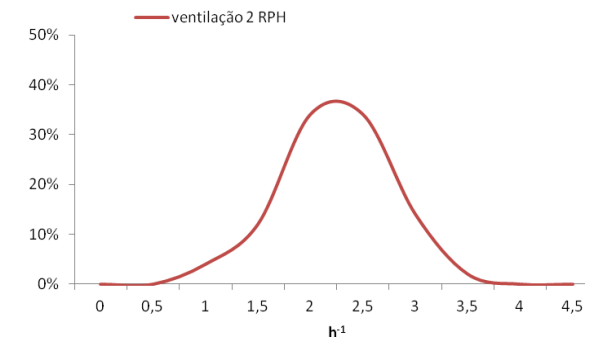
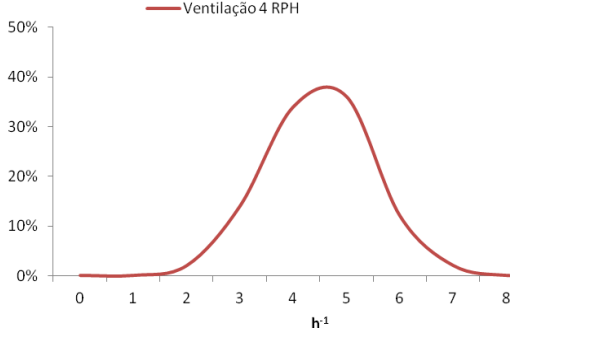


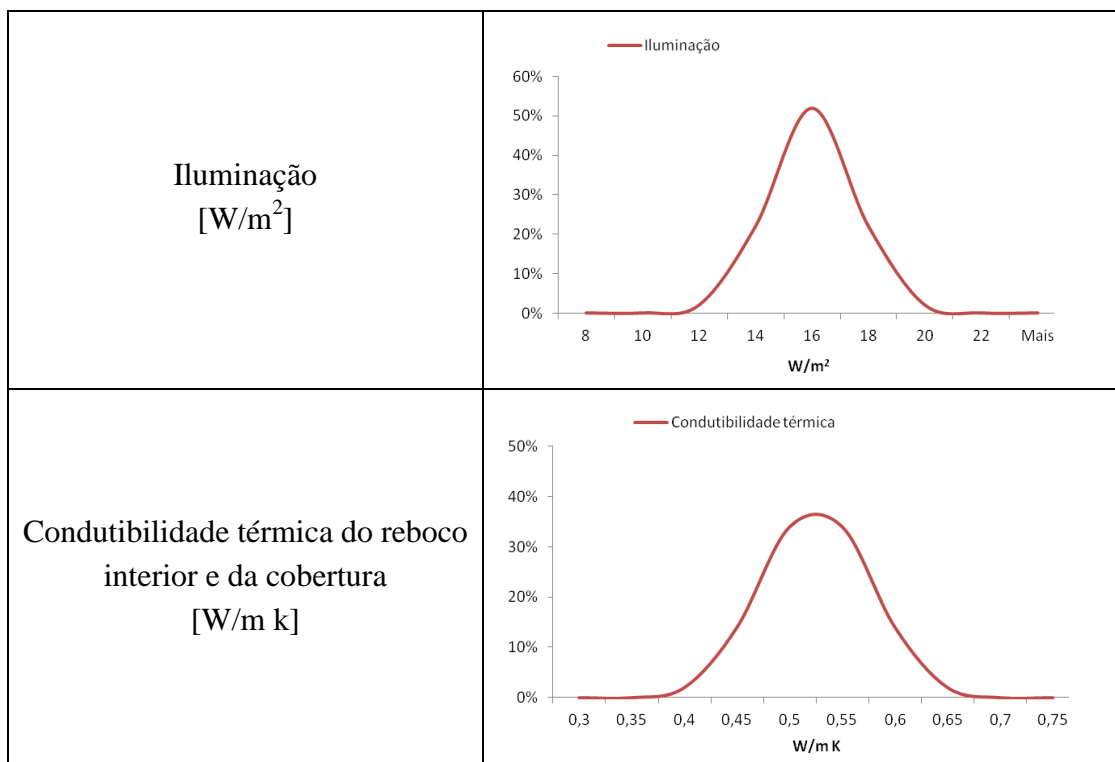
Quadro A-3: Números aleatórios obtidos para uma amostra de 50 valores

Simulações	Densidade de pessoas	Metabolismo	Ventilação 2 RPH	Ventilação 4 RPH	Iluminação	Condutibilidade térmica do reboco interior e da cobertura
1	0,104382	87,185906	2,431772	4,615179	15,759286	0,463247
2	0,138468	95,380385	1,656438	4,061694	13,493542	0,492402
3	0,050404	83,028118	2,136053	4,033973	16,628613	0,504189
4	0,113373	85,552993	1,819872	3,173659	15,998036	0,522205
5	0,097839	94,275435	2,231927	5,129103	15,579644	0,478637
6	0,067529	107,307704	1,785014	3,897764	16,414817	0,484208
7	0,082886	88,761990	2,275791	3,282337	15,826161	0,589683
8	0,101858	98,916950	2,364356	5,443533	13,666792	0,418429
9	0,151626	91,944179	2,954335	3,616111	14,959095	0,605124
10	0,140416	104,744605	2,054754	3,347209	15,096242	0,514250
11	0,061948	86,211616	0,732825	3,568844	14,078739	0,550681
12	0,147364	95,046752	1,679293	3,114161	18,084534	0,444166
13	0,111091	100,074708	2,668453	2,805622	13,819426	0,474329
14	0,092592	103,664494	1,567459	6,176243	14,289564	0,480043
15	0,108850	108,689965	2,492906	5,962417	14,024814	0,519597
16	0,088121	95,767368	2,162991	4,257624	13,066751	0,440157
17	0,090806	78,497141	2,796518	2,687162	14,894290	0,523973
18	0,130955	89,666382	1,267758	2,940517	14,585057	0,454425

19	0,123207	86,872955	2,047929	3,839457	17,244121	0,501686
20	0,125269	112,209069	1,491697	4,893667	14,715288	0,533187
21	0,107558	90,651540	3,369937	2,582564	13,292151	0,511535
22	0,069603	102,128448	2,410857	1,612245	17,391381	0,565038
23	0,109597	93,047676	2,742388	2,062346	16,772590	0,555066
24	0,133777	103,476565	1,595847	4,329386	14,775619	0,473298
25	0,102943	89,121401	1,861450	4,389334	12,618216	0,507899
26	0,116661	81,538006	1,978051	4,431950	14,451161	0,457955
27	0,112692	80,701408	2,562343	3,917307	15,022841	0,452235
28	0,084783	99,607862	1,951203	4,218345	15,956357	0,542496
29	0,096206	93,509884	2,332924	3,378953	14,656722	0,496015
30	0,078988	92,724789	0,981710	4,998975	16,313493	0,489509
31	0,115827	105,519467	1,892888	2,409147	16,172410	0,541371
32	0,072752	98,172420	1,747070	4,484021	12,789692	0,530923
33	0,074361	97,288796	1,397803	3,066479	13,581333	0,515935
34	0,078604	110,074681	2,301227	3,468719	13,874721	0,579237
35	0,042033	87,866275	2,187402	4,667752	14,148695	0,546575
36	0,128542	100,868464	2,124914	5,231849	14,500626	0,506742
37	0,100061	102,272665	1,448248	2,877503	15,353080	0,466168
38	0,080829	91,454618	2,628213	5,321071	11,819894	0,470590
39	0,122784	97,746379	2,243179	4,787804	14,332991	0,576814
40	0,057679	83,866554	1,903031	3,982442	17,055967	0,449714
41	0,092009	84,427395	2,092150	3,764112	13,230836	0,493265
42	0,086278	96,652445	2,005502	3,672585	16,522212	0,432992
43	0,099313	101,286975	1,318665	3,484671	16,133844	0,563011
44	0,096298	117,819784	1,949614	4,108856	15,268962	0,536959
45	0,076308	90,303252	1,720318	4,188790	15,644348	0,499630
46	0,093688	97,066521	1,634295	4,945236	12,238595	0,487190
47	0,089276	94,075119	1,506212	5,629109	15,170592	0,362533
48	0,105430	74,530724	1,847229	4,551006	17,869029	0,527492
49	0,118198	91,097208	1,181193	3,701344	15,483230	0,422847
50	0,120093	76,623746	2,521472	4,754430	15,403047	0,402898

Quadro A-4: Gráficos da distribuição das variáveis para uma amostra de 5 valores

Variáveis	Gráfico da distribuição
<p>Densidade de pessoas [ocupante/m²]</p>	
<p>Atividade metabólica [W/pessoa]</p>	
<p>Ventilação 2 RPH [h⁻¹]</p>	
<p>Ventilação 4 RPH [h⁻¹]</p>	



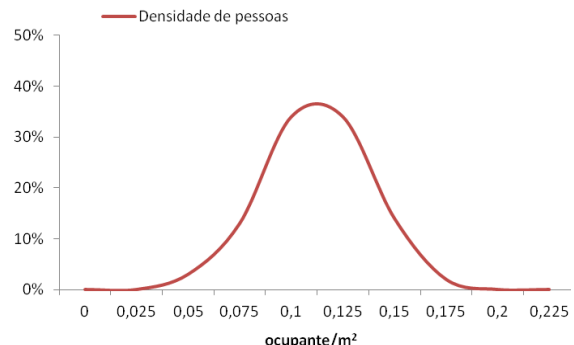
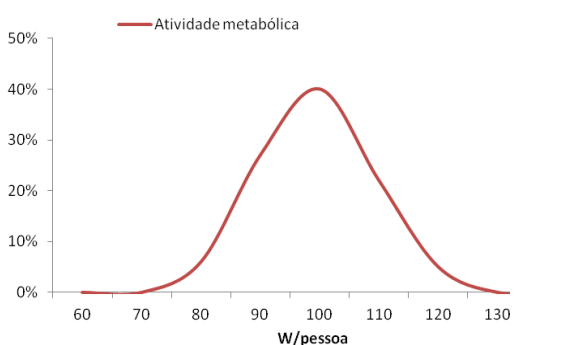
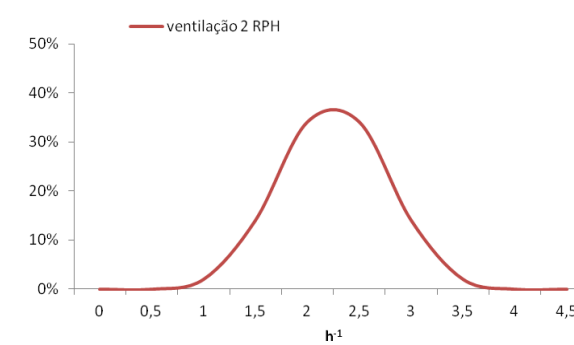
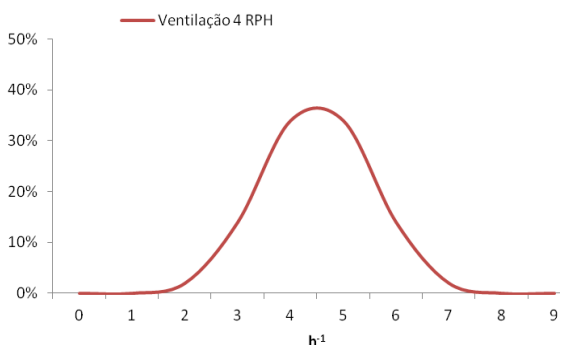
Quadro A-5: Números aleatórios obtidos para uma amostra de 100 valores

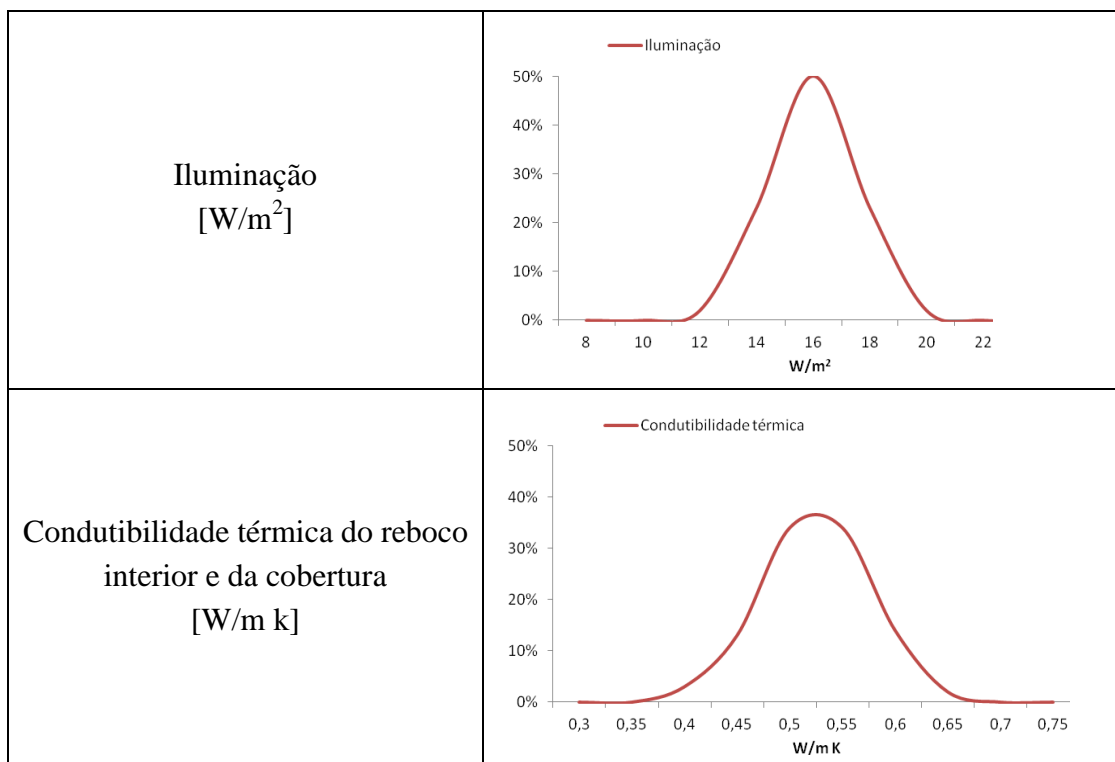
Simulações	Densidade de pessoas	Metabolismo	Ventilação 2 RPH	Ventilação 4 RPH	Iluminação	Condutibilidade térmica do reboco interior e da cobertura
1	0,055205	101,595844	1,023123	5,684323	16,275161	0,478925
2	0,086214	92,050031	2,152618	3,893153	14,818083	0,502219
3	0,071374	98,776682	1,543934	3,216812	15,984827	0,454014
4	0,114369	85,288975	1,798634	6,196785	17,237128	0,410602
5	0,090937	79,556947	1,124575	5,019159	16,598479	0,497206
6	0,136171	101,369353	1,436086	4,863753	16,477973	0,439589
7	0,132951	104,286134	1,720257	2,682897	13,925419	0,417435
8	0,101799	109,505990	1,533578	4,407913	14,398275	0,599996
9	0,092077	80,173976	1,456973	4,547898	15,625664	0,492094
10	0,124768	81,773704	1,693463	2,588535	15,064297	0,519428
11	0,065510	80,365335	1,393929	3,632889	12,740309	0,562832
12	0,115312	93,283838	2,532272	3,268720	12,906221	0,418918
13	0,083472	88,273331	1,336322	4,605748	16,646690	0,522545
14	0,087041	105,260440	2,801957	2,612183	14,081180	0,526532
15	0,082952	81,033528	1,731501	5,299255	18,383920	0,504878
16	0,112789	76,810599	1,220541	5,907301	11,601109	0,510122
17	0,079342	94,647472	1,595928	3,392381	15,888747	0,473997
18	0,070548	103,755899	2,367925	3,942482	15,179061	0,541991

19	0,112046	87,153841	2,392989	4,515523	14,148992	0,460598
20	0,085694	82,807079	1,971897	5,437906	15,856540	0,464159
21	0,108150	91,554005	2,077496	4,573205	14,007094	0,542745
22	0,089799	78,700793	2,194589	4,309900	16,504035	0,586228
23	0,104428	93,898929	1,126761	3,165136	15,375943	0,481300
24	0,025990	102,239671	1,622478	3,599597	12,558327	0,475768
25	0,109967	95,175829	0,949231	4,797330	10,575078	0,521170
26	0,138294	75,905313	1,674832	5,789022	14,873724	0,553019
27	0,122182	88,850359	2,377094	4,698806	16,886131	0,551746
28	0,119956	90,885753	2,265627	2,489326	15,554875	0,515914
29	0,093694	110,838641	2,993369	4,374958	15,314330	0,467202
30	0,102120	102,633788	1,994219	3,860719	16,223084	0,533555
31	0,104028	92,477933	0,656589	3,532533	13,179372	0,495658
32	0,099265	104,812523	2,705327	3,648076	17,069046	0,575899
33	0,077969	84,300404	2,454612	2,719561	13,819838	0,431225
34	0,089514	90,252870	1,601703	3,380071	15,266229	0,509067
35	0,095681	106,359924	2,055539	2,798168	14,636536	0,571274
36	0,084747	107,613998	2,285009	3,323891	15,464145	0,476794
37	0,117099	100,644912	2,128172	4,081383	12,324456	0,469280
38	0,152853	97,989464	2,242370	4,161068	17,146415	0,449824
39	0,062672	88,666856	1,858007	3,671927	16,079410	0,490596
40	0,099639	100,953402	1,878066	3,798406	17,829285	0,493769
41	0,059331	86,841511	1,941916	3,976699	17,003226	0,507815
42	0,127688	99,156047	1,516397	4,456278	15,207437	0,458890
43	0,130679	95,842734	2,567877	5,554745	13,763019	0,503345
44	0,058659	103,380886	1,899060	4,822456	12,519510	0,472244
45	0,142865	89,981811	2,220219	3,440536	15,230080	0,483750
46	0,068645	99,838042	1,479051	4,731644	15,582665	0,462218
47	0,103736	101,879016	1,322402	3,523171	16,729977	0,489649
48	0,123147	85,658882	1,873021	2,104914	13,695179	0,631489
49	0,100905	94,384872	1,839263	1,196130	16,422472	0,613363
50	0,148874	108,213442	2,436910	2,277781	15,394800	0,556910
51	0,159886	94,247676	2,187171	3,572663	14,068928	0,545071
52	0,100089	90,629292	2,154263	3,032386	16,347767	0,436088
53	0,049700	97,577788	1,241046	2,881500	15,666337	0,473755
54	0,088782	91,251083	1,376803	4,011216	14,955017	0,469617
55	0,076682	97,023729	2,022463	2,921586	17,424120	0,529699
56	0,080904	91,665985	1,759967	2,968152	16,184645	0,525448
57	0,067804	93,437223	2,458518	4,760208	15,024899	0,506725
58	0,098677	97,797904	2,515564	4,972246	15,710012	0,485085
59	0,146063	106,070902	1,639236	6,700015	15,419468	0,452105
60	0,081918	97,226210	2,308573	4,263123	15,531316	0,498900
61	0,092381	110,761386	2,562171	4,030169	15,954089	0,556286
62	0,125161	72,993128	2,104894	3,055829	14,268858	0,524376
63	0,126660	89,828164	2,671025	3,743402	13,970471	0,512435

64	0,110797	95,345791	2,415773	3,904040	15,787735	0,533841
65	0,121174	86,588143	2,035954	2,246388	17,471317	0,532062
66	0,118544	82,524576	2,326539	3,492368	14,749035	0,423974
67	0,087859	99,585447	2,001135	4,887838	13,577023	0,500455
68	0,109461	99,445387	1,699457	3,092935	14,909636	0,479852
69	0,091645	96,111162	2,115059	4,485466	14,516819	0,398672
70	0,074262	96,859610	1,922062	5,187838	14,697726	0,435763
71	0,113410	86,274731	1,741325	5,232278	16,032627	0,486273
72	0,097522	89,242372	2,763170	4,944622	14,964894	0,546673
73	0,094914	92,158828	2,044946	1,918718	14,310161	0,492839
74	0,105956	87,472690	3,478108	3,150312	14,562064	0,514995
75	0,120787	96,564983	1,809781	5,109997	13,335767	0,455095
76	0,108410	113,300300	2,170902	4,297950	13,847394	0,388652
77	0,103021	89,339637	2,648297	3,951666	13,144250	0,505077
78	0,105404	100,222188	3,047887	4,438497	14,446429	0,447215
79	0,097241	84,566686	2,100087	5,366273	13,508795	0,561100
80	0,079990	105,535571	1,482837	4,146840	14,239068	0,593622
81	0,116333	85,138287	2,298916	2,833053	14,786512	0,482571
82	0,130389	94,776885	1,271103	3,768143	13,386154	0,564663
83	0,084438	87,979930	1,824209	3,707568	15,113079	0,548322
84	0,140800	98,301582	2,064965	5,036462	15,758559	0,428566
85	0,095163	93,609470	2,636342	4,348975	13,677151	0,497559
86	0,093296	92,876007	2,601281	4,641895	16,836915	0,513289
87	0,075978	119,052000	1,891134	4,120265	12,828113	0,527737
88	0,078827	87,816705	2,338313	3,344340	14,597918	0,538486
89	0,073573	92,708958	1,768454	4,066885	12,992375	0,536602
90	0,107043	113,831651	2,207659	4,221643	14,668472	0,538991
91	0,134221	83,337010	2,843378	2,361309	13,262580	0,487444
92	0,111669	98,584968	1,955036	4,184446	14,359818	0,518214
93	0,118427	83,773239	1,782045	5,128184	14,202165	0,377251
94	0,128391	102,921110	1,662206	3,837917	13,447793	0,443320
95	0,046064	96,288748	2,249550	5,559802	12,049665	0,567509
96	0,096617	100,474424	2,488919	4,674306	16,156757	0,465030
97	0,106470	91,068664	2,937737	3,240902	17,680604	0,517561
98	0,115804	95,681238	1,927732	3,777569	18,843642	0,581158
99	0,063954	107,406893	1,985524	3,468887	14,499874	0,457343
100	0,072178	72,000230	1,576614	4,229282	15,079370	0,444081

Quadro A-6: Gráficos da distribuição das variáveis para uma amostra de 100 valores

Variáveis	Gráfico da distribuição
<p>Densidade de pessoas [ocupante/m²]</p>	
<p>Atividade metabólica [W/pessoa]</p>	
<p>Ventilação 2 RPH [h⁻¹]</p>	
<p>Ventilação 4 RPH [h⁻¹]</p>	



Quadro A-7: Números aleatórios obtidos para uma amostra de 200 valores

Simulações	Densidade de pessoas	Metabolismo	Ventilação 2 RPH	Ventilação 4 RPH	Iluminação	Condutibilidade térmica do reboco interior e da cobertura
1	0,112437	96,689765	2,120457	4,537804	16,016435	0,534334
2	0,145146	84,563353	2,246610	5,590067	12,714969	0,468354
3	0,042165	105,094924	1,196535	4,023903	14,907212	0,479493
4	0,121310	97,731351	1,467177	3,944029	14,365648	0,467196
5	0,107294	96,227710	1,709077	5,694906	15,622249	0,528719
6	0,068424	100,565776	2,016354	3,575018	15,752857	0,462585
7	0,088748	97,397264	2,636903	3,991944	15,684968	0,443341
8	0,108364	85,783033	1,846262	5,015192	14,632990	0,525719
9	0,169480	92,990914	2,712822	4,188731	14,208575	0,477453
10	0,152182	93,444987	2,238230	5,505932	14,249576	0,516301
11	0,065780	89,213732	2,684001	5,139368	16,504549	0,482447
12	0,163933	111,952392	2,041186	4,290711	12,081576	0,510437
13	0,117137	86,726468	1,604621	3,371862	14,881618	0,365650
14	0,099359	89,667031	1,209447	4,616945	15,489791	0,522220
15	0,116008	87,734386	2,062761	2,708294	14,128809	0,582477
16	0,094401	83,527592	2,433691	4,243259	15,838531	0,548798
17	0,097891	92,837133	1,835465	4,888324	15,113071	0,544128
18	0,135230	91,559160	1,676511	4,234798	13,705024	0,489098

19	0,131628	109,514138	1,811060	4,973123	15,344652	0,504588
20	0,132712	92,244132	1,392422	6,048650	14,817648	0,509372
21	0,114600	84,078346	1,708123	5,034482	14,517114	0,501176
22	0,070750	110,696817	1,889464	4,258605	14,000603	0,459513
23	0,116360	108,181139	1,970892	4,686479	15,237887	0,481980
24	0,140476	92,559982	1,929448	4,498100	12,221789	0,490809
25	0,111003	81,081673	2,330689	2,828575	14,565350	0,475862
26	0,123995	90,306938	2,006448	3,655358	14,296247	0,541351
27	0,117322	93,147455	3,034939	5,422473	13,742345	0,604162
28	0,089881	97,420549	2,149421	3,972169	16,240040	0,431509
29	0,105859	91,874648	2,968322	4,639862	13,956063	0,502199
30	0,083310	100,065410	1,563381	3,148753	15,978234	0,428628
31	0,121824	99,204149	2,260498	4,078260	16,704840	0,556450
32	0,073133	82,832044	1,854092	4,653435	15,005624	0,566218
33	0,076390	85,437945	2,316907	2,733650	15,502898	0,411635
34	0,082081	87,377740	2,301880	4,363283	16,190012	0,587604
35	0,032486	89,465665	0,903268	3,850079	15,105570	0,441205
36	0,135011	90,672065	1,278635	3,225076	16,001625	0,507976
37	0,107809	95,121104	1,237877	3,978496	12,990882	0,549751
38	0,084542	62,768340	2,200388	1,988025	16,741176	0,503534
39	0,130146	90,129414	2,779259	1,768787	13,573200	0,596709
40	0,059143	108,364173	1,802609	2,966046	12,349575	0,626806
41	0,098222	83,816744	2,414370	3,169170	17,126833	0,502561
42	0,092974	104,652279	2,275015	3,001857	15,139538	0,405458
43	0,107630	99,015502	1,429944	2,070483	15,809048	0,481184
44	0,106801	94,560319	2,180495	4,271196	14,657025	0,457112
45	0,079270	96,570466	1,538456	2,339036	13,553848	0,464282
46	0,099706	81,002328	2,799356	4,128151	10,768166	0,439182
47	0,096864	94,078658	1,949216	4,841631	16,181474	0,500261
48	0,114096	111,050552	2,839353	4,000238	14,737259	0,591590
49	0,124964	95,797412	1,748444	4,111436	14,926946	0,466252
50	0,126510	95,229136	2,298426	3,704586	15,713336	0,486341
51	0,079579	87,526493	1,932583	2,523328	12,852204	0,552871
52	0,102233	94,459260	0,942526	3,954772	13,984759	0,555353
53	0,069374	96,915417	1,497302	5,077833	16,776815	0,523148
54	0,074855	99,678150	2,338584	5,727518	16,101843	0,546878
55	0,100398	90,584807	1,938061	3,629700	12,968092	0,543669
56	0,137293	92,270279	1,376107	2,216584	11,212052	0,480341
57	0,083906	114,116111	1,619638	4,197176	14,273265	0,518635
58	0,109147	75,328387	2,117298	4,409622	15,432604	0,485350
59	0,093132	116,816549	1,473649	3,805252	16,638001	0,453218
60	0,127278	98,635889	2,561899	3,026768	15,258113	0,531385
61	0,075459	105,533488	1,612976	5,949462	13,386295	0,499573
62	0,101274	80,155414	3,013322	1,574620	15,558036	0,489522
63	0,112813	88,658409	1,418406	3,562062	13,153848	0,513242

64	0,125992	91,468434	2,088361	2,823928	13,648621	0,545963
65	0,138483	99,614678	1,159842	3,465627	14,110044	0,516846
66	0,102639	79,833560	1,558172	4,332132	13,104064	0,505608
67	0,061264	100,442196	1,660459	4,172769	14,793043	0,511333
68	0,084705	83,102663	2,193671	3,444660	13,764890	0,499288
69	0,076796	95,360489	2,508539	4,811893	14,761298	0,463231
70	0,146645	101,650167	2,142011	4,660248	14,384168	0,538532
71	0,085926	98,242085	1,778279	4,712575	14,533856	0,565179
72	0,118442	106,811112	2,429005	3,642878	14,347744	0,473605
73	0,096097	105,803017	2,404615	5,221401	16,922958	0,587232
74	0,122101	88,316989	2,033961	4,726481	16,144170	0,489996
75	0,083942	97,268183	2,284408	6,471291	15,208717	0,488173
76	0,064178	85,567965	2,212655	5,269715	12,801816	0,454485
77	0,063578	82,390015	1,486217	5,335976	12,569492	0,461685
78	0,110737	104,189117	2,400742	4,052425	11,973265	0,449744
79	0,096410	94,934275	1,589567	2,858714	18,277755	0,515717
80	0,094962	94,379073	1,653325	3,711043	16,682559	0,572579
81	0,132773	103,946436	2,072681	3,390131	15,470146	0,525420
82	0,105411	101,131286	1,818139	3,531361	13,598344	0,542847
83	0,104604	98,917114	1,906547	4,583573	13,331436	0,562651
84	0,139452	108,629620	2,308853	3,539314	16,043617	0,371816
85	0,082644	104,444036	2,623939	3,265179	17,338392	0,491200
86	0,115025	97,106196	1,884181	3,684755	12,457269	0,515193
87	0,119780	88,063308	2,171673	3,889091	14,449197	0,534940
88	0,092391	88,177755	1,862480	4,465512	15,092018	0,433487
89	0,104869	107,845753	2,097298	3,202958	11,913761	0,446775
90	0,071483	80,640512	2,232663	4,323679	16,472753	0,538817
91	0,072908	94,730967	1,629360	4,088698	14,490940	0,493364
92	0,103173	78,156691	2,130067	5,445381	17,721566	0,527357
93	0,116685	106,310005	2,322381	3,837670	14,585982	0,448958
94	0,150824	103,432168	1,996540	3,904824	15,729724	0,415873
95	0,085466	95,032145	2,874389	3,014080	13,361774	0,537026
96	0,104167	94,168532	1,646415	2,632443	14,186091	0,554322
97	0,098469	72,449173	1,544172	4,305023	13,161723	0,576896
98	0,055813	101,052289	1,079038	3,786768	15,669405	0,420229
99	0,088422	76,197679	2,503613	4,576796	17,106081	0,430977
100	0,056712	74,531683	2,450210	3,293112	14,219942	0,425203
101	0,120543	95,516409	1,915856	5,765609	15,796980	0,496265
102	0,078324	85,230142	2,471849	4,161692	14,338908	0,471400
103	0,103055	99,482625	2,083661	5,196660	15,266661	0,559697
104	0,086992	101,970098	2,133990	3,815907	16,908300	0,426345
105	0,106242	103,238064	2,023015	3,883751	15,317635	0,409182
106	0,086203	87,912373	2,222374	4,766731	13,504797	0,506094
107	0,111404	100,202052	2,000158	4,606748	13,833819	0,553356
108	0,117904	95,886117	3,683542	3,076864	14,995706	0,461218

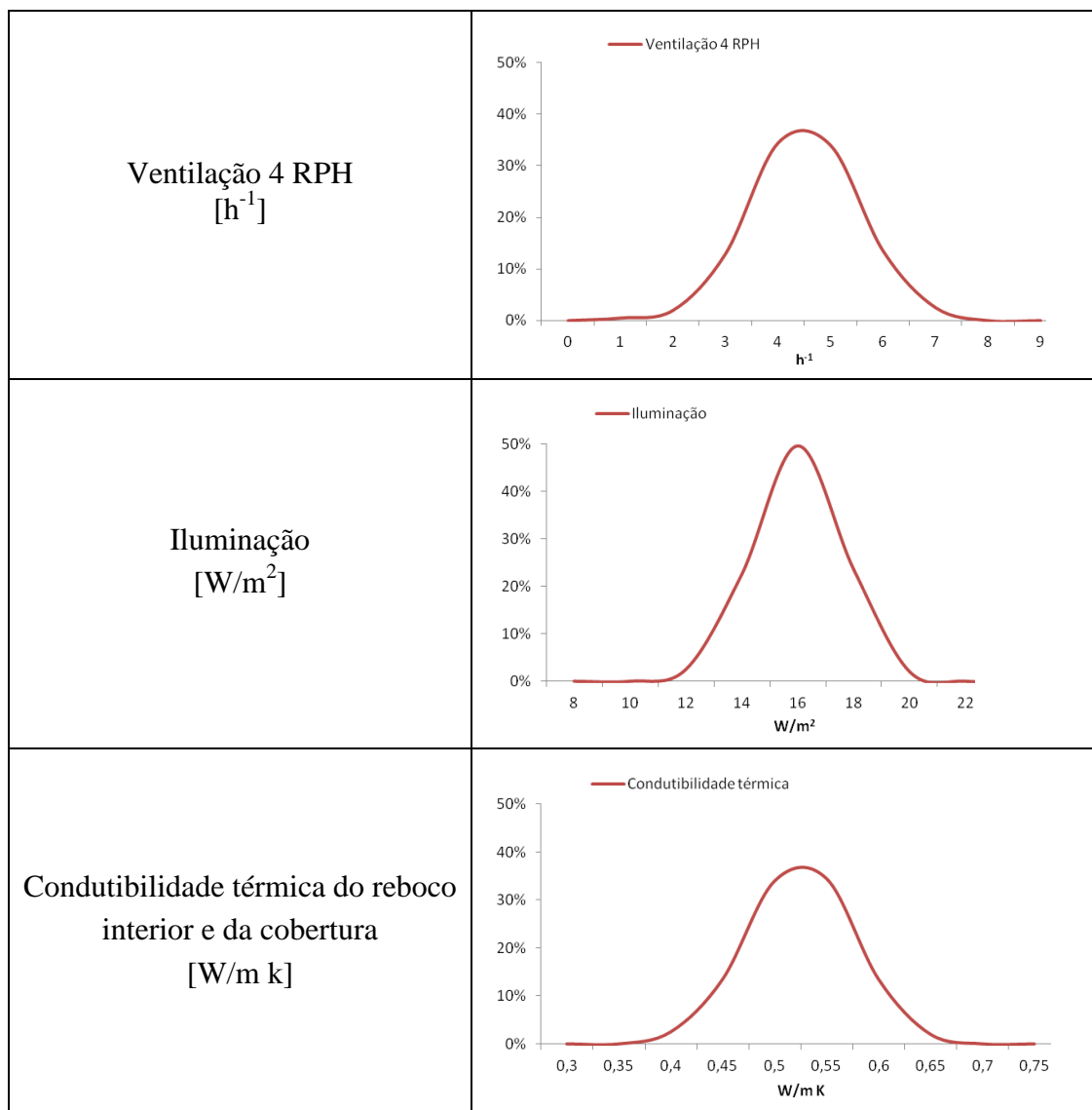
109	0,143062	102,911514	1,335927	2,470490	14,950134	0,436438
110	0,095688	100,669041	1,001665	3,092045	13,814514	0,491945
111	0,046282	103,844554	1,368944	2,622414	15,413597	0,413876
112	0,080860	93,484788	1,409196	4,072906	16,998192	0,498339
113	0,129642	93,244288	1,732328	3,680113	14,832711	0,540498
114	0,075984	105,927577	1,892680	3,729490	14,897569	0,507401
115	0,122668	77,459424	1,872119	2,752745	11,575767	0,399291
116	0,103548	89,571205	2,263775	4,837447	13,901505	0,472977
117	0,133608	82,515789	2,177922	4,513783	12,903271	0,484387
118	0,053483	90,485601	2,386161	3,916019	14,617767	0,580276
119	0,094947	101,495954	2,912428	5,107123	15,897122	0,544898
120	0,070199	102,745783	2,695472	3,296462	17,222179	0,494664
121	0,156275	84,927530	1,284990	4,477602	17,712965	0,558404
122	0,119121	89,944382	0,597013	4,381148	15,028837	0,444089
123	0,131259	96,381637	2,488984	4,391767	14,690909	0,482799
124	0,077204	91,070364	1,046169	3,427151	16,412679	0,567800
125	0,088194	97,539936	1,987006	4,347363	15,869136	0,570297
126	0,091953	99,231115	1,964935	3,548872	16,273722	0,535964
127	0,125728	85,895371	3,171768	3,251950	16,327848	0,524008
128	0,091579	92,931452	1,923287	2,936092	12,752237	0,472113
129	0,115492	76,644589	1,697874	5,158143	15,954672	0,536617
130	0,049738	107,382486	2,102552	3,321829	15,074564	0,460179
131	0,089210	88,368230	2,113521	3,868571	13,928114	0,528174
132	0,081776	83,422477	1,987802	2,911001	14,071514	0,511574
133	0,060581	92,065209	1,632520	3,765522	17,053110	0,551723
134	0,111812	81,716845	1,320918	0,064324	13,855344	0,477032
135	0,105063	94,844942	2,158108	3,108102	13,058243	0,531940
136	0,101655	89,011558	1,252703	2,524936	15,447377	0,540056
137	0,066937	115,887496	1,453987	3,136117	17,965335	0,454131
138	0,127674	107,114619	2,719867	3,829624	15,175219	0,504019
139	0,108917	71,556641	1,753103	3,758910	15,580569	0,575152
140	0,090683	99,974288	1,899294	5,827872	13,736169	0,501783
141	0,100914	82,180067	2,480264	3,495600	17,451443	0,484068
142	0,092309	91,941101	1,824751	3,774292	15,332456	0,521113
143	0,058481	96,508208	2,601018	2,355714	15,920160	0,487623
144	0,091271	102,337833	1,790492	3,602102	13,661179	0,519353
145	0,081524	91,734577	2,584606	2,789025	16,540187	0,493058
146	0,077803	110,182225	2,349971	4,037604	15,652972	0,496924
147	0,072368	89,739301	1,875234	4,943532	13,272321	0,521905
148	0,087552	98,300837	1,507287	4,450878	15,193403	0,562908
149	0,051766	101,744388	1,439671	3,457984	14,431993	0,520078
150	0,122951	95,611287	1,847289	2,166592	15,299005	0,577911
151	0,112052	103,616254	1,723582	5,640220	14,860169	0,396593
152	0,100134	98,117183	1,769396	6,080548	14,978028	0,476262
153	0,099374	87,280179	2,563623	4,141487	13,515948	0,508561

154	0,082919	79,207523	1,833308	3,184117	14,670858	0,458652
155	0,123601	112,503875	2,654529	5,361419	16,291009	0,435094
156	0,097385	88,540468	1,683671	3,478009	17,541739	0,530184
157	0,085269	95,982759	2,544899	3,620712	13,206050	0,529727
158	0,129070	100,851577	1,689569	4,974969	18,140900	0,512331
159	0,093643	96,125438	2,063455	2,662537	17,298821	0,517263
160	0,086570	86,292114	2,534127	1,907960	15,386809	0,455652
161	0,091017	90,062321	1,763126	4,488121	14,721553	0,473999
162	0,080511	93,593645	1,719336	4,421395	14,032796	0,494089
163	0,073642	109,027386	3,104863	4,117798	16,434881	0,467031
164	0,148182	86,903092	2,528878	4,541786	14,057662	0,514427
165	0,141597	102,422272	1,739230	5,288826	14,416056	0,598862
166	0,106392	97,825595	2,360081	5,100176	16,581274	0,474962
167	0,068739	92,477262	1,783638	3,506665	15,766689	0,532877
168	0,078541	84,194622	2,375570	4,914886	16,618183	0,445406
169	0,096798	91,352058	2,749852	4,222218	15,883613	0,560842
170	0,118778	94,027771	1,134305	3,591199	14,548921	0,447379
171	0,067311	81,591981	2,598001	2,946662	14,305757	0,506583
172	0,038611	96,883943	2,771588	4,700407	16,376922	0,470258
173	0,062630	87,047210	1,979953	3,737001	14,102102	0,524215
174	0,108094	93,869421	2,899715	4,038960	16,847119	0,498001
175	0,109357	98,462096	2,054458	3,337380	16,357999	0,496159
176	0,109791	86,465060	1,299471	2,439764	15,523791	0,632166
177	0,097740	91,269814	0,787270	4,211816	15,165540	0,469633
178	0,103947	98,745977	1,797828	3,932897	15,607591	0,495598
179	0,087806	78,638996	2,384585	5,395481	19,043471	0,609202
180	0,120612	106,371287	2,159525	4,860933	15,038423	0,437983
181	0,065190	118,877146	2,217147	5,252156	12,639435	0,526548
182	0,110075	105,260187	1,663978	3,408333	17,929065	0,441740
183	0,079961	90,892497	2,046343	3,241866	16,131689	0,547945
184	0,089570	99,815814	1,113516	2,877420	14,156096	0,513409
185	0,113284	84,333168	1,524129	4,565585	18,549607	0,533424
186	0,124577	112,775606	1,515105	6,805619	16,066917	0,487278
187	0,074537	104,881379	2,251724	4,789203	15,550834	0,509626
188	0,128420	102,647280	1,950955	3,381804	13,868207	0,569700
189	0,114314	86,576802	1,346210	4,933677	13,428519	0,385136
190	0,098926	97,947521	1,959667	3,061258	12,377981	0,419244
191	0,095324	89,096557	1,576196	2,581420	14,480843	0,518038
192	0,093753	90,939686	1,582780	4,783495	13,470636	0,469226
193	0,090245	88,818456	2,439852	3,353111	16,215496	0,485950
194	0,101111	84,827041	2,026946	4,306320	14,698806	0,422512
195	0,102075	86,071068	2,190115	5,526715	17,560472	0,452248
196	0,119400	92,718202	2,460214	4,426668	17,197311	0,478907
197	0,136225	79,594511	2,075776	5,048562	15,377074	0,464899
198	0,110506	101,243622	2,280038	2,252765	14,776438	0,456621

199	0,094088	93,768478	2,364991	4,755318	16,808879	0,478432
200	0,113491	102,109653	2,665618	6,224675	13,300777	0,450298

Quadro A-8: Gráficos da distribuição das variáveis para uma amostra de 200 valores

Variáveis	Gráfico da distribuição
Densidade de pessoas [ocupante/m ²]	
Atividade metabólica [W/pessoa]	
Ventilação 2 RPH [h ⁻¹]	



Quadro A-9: Números aleatórios obtidos para uma amostra de 500 valores

Simulações	Densidade de pessoas	Metabolismo	Ventilação 2 RPH	Ventilação 4 RPH	Iluminação	Condutibilidade térmica do reboco interior e da cobertura
1	0,114588	93,959922	2,336927	2,182130	15,411205	0,452950
2	0,148011	103,575823	1,626304	4,386586	16,831990	0,501344
3	0,044724	96,581960	1,757583	4,474664	16,710981	0,550185
4	0,123314	97,239262	1,622279	4,050940	14,407667	0,514914
5	0,108258	95,672878	2,289141	4,131878	14,717179	0,513766
6	0,067882	99,164560	1,578178	3,446740	16,113679	0,488064
7	0,089001	95,465209	1,416362	4,725011	15,096827	0,490284
8	0,109717	118,685494	2,267012	3,155546	16,751155	0,492292

9	0,178251	83,806011	1,739371	3,224479	13,915644	0,369670
10	0,161947	75,649825	2,166622	4,730585	15,654501	0,519724
11	0,066391	84,466694	1,784151	5,773488	15,404938	0,547604
12	0,170224	84,877429	2,120516	3,593129	17,123456	0,434224
13	0,119316	90,484855	0,222531	3,465643	12,934773	0,424204
14	0,098889	93,395486	2,225589	4,379129	14,910425	0,530612
15	0,118903	92,796591	2,836029	5,144077	15,012844	0,424976
16	0,094891	100,048128	2,496687	5,021919	11,278299	0,417571
17	0,097670	98,185091	2,447794	4,246204	16,916539	0,538348
18	0,137857	101,858776	1,861948	3,331312	19,899022	0,464083
19	0,135374	110,921057	2,067909	4,622454	14,556174	0,556162
20	0,135470	106,946994	2,113035	3,913952	15,382630	0,435845
21	0,118113	82,208376	2,025814	5,509404	14,251664	0,466663
22	0,069637	71,253550	1,540274	2,609177	15,531045	0,511553
23	0,119131	103,731056	1,782269	4,115538	14,370914	0,527596
24	0,142474	76,556664	1,897289	5,409795	14,772206	0,524171
25	0,113435	95,212053	1,720234	3,483186	17,399147	0,508038
26	0,128244	94,758790	2,420152	3,348906	13,655564	0,485890
27	0,119615	114,676388	3,161468	3,054938	14,109778	0,468016
28	0,090643	94,042496	1,317829	3,687715	14,825668	0,525432
29	0,107043	89,781096	2,033012	3,803083	14,704437	0,477315
30	0,080989	96,775747	1,282921	4,105003	17,199762	0,521065
31	0,123938	96,871754	2,590451	3,108775	18,214439	0,551369
32	0,071140	95,251052	2,651637	4,046583	13,417598	0,389529
33	0,073239	88,822131	1,140767	3,376364	13,991147	0,579870
34	0,080444	83,003485	2,887804	3,638204	15,764976	0,465513
35	0,031613	97,580282	1,401074	3,173814	14,360427	0,559302
36	0,136779	81,676119	2,100973	3,683812	18,092587	0,570216
37	0,108821	85,407018	2,521013	7,151939	17,444480	0,425879
38	0,081569	107,843808	2,039625	6,807119	15,825682	0,506906
39	0,134750	90,731533	3,033876	5,287490	15,836424	0,673098
40	0,058705	93,598685	3,328298	4,800324	14,461352	0,486933
41	0,097943	103,677379	2,036070	2,680127	16,159439	0,525687
42	0,093552	92,037980	1,043491	3,383559	16,733267	0,515748
43	0,108426	105,086913	1,767901	3,368778	15,151085	0,557685
44	0,108053	91,729575	1,533999	4,517767	17,837308	0,551795
45	0,078908	104,858559	1,588998	4,451907	15,992085	0,449590
46	0,099843	100,819651	1,386458	4,084348	14,765368	0,476049
47	0,096417	92,935028	2,017796	3,663748	15,520224	0,516781
48	0,117221	86,869252	2,943452	3,066666	16,732367	0,495237
49	0,129575	85,158216	1,612642	3,986609	14,334120	0,617219
50	0,130342	92,411892	1,834518	5,269650	14,810415	0,522482
51	0,078964	90,395445	2,541267	4,408458	18,531868	0,522083
52	0,101933	91,113689	2,569759	4,168744	14,232406	0,457511
53	0,068987	104,757338	2,232748	4,643695	16,460370	0,433797

54	0,072083	92,117627	2,483607	4,575195	16,247732	0,538997
55	0,100389	106,037188	2,431302	2,285810	17,311688	0,487617
56	0,139648	89,480628	1,762392	4,004443	15,775364	0,532060
57	0,081363	104,599669	2,193879	3,571299	11,172578	0,457745
58	0,110351	89,512868	1,819539	2,007078	13,617953	0,542916
59	0,094200	96,420855	1,495962	2,670435	15,756526	0,406392
60	0,130632	104,442182	2,320091	3,669647	15,331593	0,570618
61	0,072757	90,857445	2,010492	4,874167	17,980398	0,541242
62	0,101179	90,340848	1,891117	3,765617	17,188028	0,504196
63	0,114928	112,448664	2,138451	4,228813	15,710612	0,440200
64	0,130005	104,196101	2,474757	3,093471	15,043454	0,477049
65	0,140178	90,498876	2,173395	1,726318	12,640155	0,512108
66	0,102298	101,210926	2,076470	4,067558	17,817947	0,555200
67	0,062364	91,636004	2,129129	3,010174	15,137282	0,445569
68	0,081877	101,562770	1,996050	5,326631	12,647024	0,558000
69	0,074065	108,529128	1,579752	5,784134	15,580084	0,626119
70	0,154446	78,930848	2,391184	3,625793	15,077051	0,473176
71	0,084945	104,991917	2,643985	5,339429	14,126084	0,524511
72	0,120063	108,770974	1,696163	4,987087	15,697638	0,463682
73	0,095640	94,935336	2,886849	2,587484	13,864005	0,414359
74	0,124192	110,361044	1,894555	3,962756	12,923761	0,567170
75	0,081397	96,097087	1,858264	4,226761	12,375928	0,533850
76	0,065274	82,674038	1,505666	4,505810	14,397633	0,471312
77	0,064947	73,284947	1,564303	4,684294	13,997862	0,504443
78	0,113348	91,751451	1,471487	4,677433	15,597711	0,485738
79	0,096092	101,679740	2,158453	4,691234	12,755772	0,427457
80	0,095245	97,668188	2,724447	3,674639	14,576661	0,365935
81	0,135815	98,752821	2,251716	4,353749	12,733573	0,495654
82	0,106962	89,087744	2,420953	1,197042	17,655818	0,475459
83	0,105289	96,005866	2,618924	2,820940	14,737995	0,468192
84	0,140685	77,913109	0,664203	5,345646	16,860968	0,456483
85	0,080614	87,666540	1,899953	3,302413	15,703290	0,405638
86	0,118331	87,096664	2,156735	4,310067	16,392038	0,470350
87	0,122354	99,607010	2,356160	5,580533	13,172114	0,506021
88	0,093513	94,406108	1,336349	3,104946	16,950967	0,444330
89	0,105528	84,059651	1,439175	3,000775	17,228799	0,522919
90	0,070612	94,448720	2,393668	3,487392	11,518589	0,482867
91	0,070970	88,378424	1,916747	4,432046	14,637379	0,492704
92	0,103043	88,468442	2,273012	3,797937	13,976070	0,430319
93	0,119219	103,134759	1,465862	2,989555	15,199061	0,460416
94	0,160160	95,702823	1,176275	2,316612	13,629625	0,520821
95	0,083453	98,280942	2,373922	3,634270	15,357960	0,460186
96	0,104983	103,391622	2,556696	3,781398	15,893029	0,506151
97	0,098453	96,502814	2,754962	3,436145	15,298270	0,588041
98	0,055535	100,127083	1,208427	3,707565	14,734915	0,539517

99	0,088777	101,435688	1,308189	2,896361	13,021315	0,549553
100	0,057037	106,364941	1,244523	4,537765	15,016022	0,608732
101	0,122552	99,268679	1,951445	1,666662	14,192492	0,554023
102	0,078208	108,404753	1,653512	4,121253	13,048924	0,520063
103	0,102718	94,647134	2,600405	4,662311	14,828297	0,584879
104	0,086581	94,215784	1,258793	3,164815	14,571255	0,453157
105	0,107394	109,803115	1,107259	3,935556	15,214638	0,462531
106	0,085527	89,749633	2,080698	4,274582	16,538915	0,589567
107	0,113649	94,505600	2,552827	3,374975	15,865304	0,523133
108	0,119814	103,842551	1,550329	3,967289	16,978960	0,496213
109	0,144480	96,066835	1,353369	4,381811	13,861651	0,523576
110	0,095527	108,134598	1,908395	3,050683	13,610947	0,483437
111	0,049124	105,185071	1,159945	4,880484	14,786829	0,481901
112	0,079688	97,262113	1,984098	5,177361	17,103494	0,477538
113	0,134234	87,391209	2,415056	4,297215	16,962992	0,469216
114	0,073066	100,374073	2,092128	3,996832	14,720802	0,450219
115	0,126524	81,321210	1,028265	2,832199	14,071628	0,494991
116	0,103704	96,848670	1,688743	4,457434	12,698906	0,468483
117	0,136180	102,508565	1,811110	2,758152	16,004198	0,565566
118	0,053974	96,630493	2,816194	5,671989	14,948044	0,510137
119	0,095105	103,225714	2,452589	4,508170	13,111796	0,548374
120	0,069341	113,503801	1,938449	4,241612	14,485345	0,490833
121	0,163145	103,936304	2,594033	3,585348	12,241591	0,493769
122	0,121725	96,998260	1,418031	1,537130	15,571329	0,557227
123	0,135115	100,946087	1,788147	2,779366	14,646037	0,566456
124	0,074207	98,923318	2,657673	4,347306	17,412134	0,501002
125	0,088166	82,046168	2,698192	6,157361	12,893463	0,575867
126	0,092563	90,755391	2,360381	4,751868	16,492099	0,525347
127	0,129638	107,122750	2,233883	4,292743	15,165265	0,518072
128	0,092199	94,282334	1,665503	3,434672	15,034312	0,599243
129	0,118738	100,409097	2,364945	4,090483	16,085468	0,568989
130	0,051884	85,584406	1,543550	5,015035	16,821831	0,543333
131	0,089575	95,156775	2,287343	3,726360	13,308503	0,520404
132	0,080043	100,551920	2,129618	5,899240	16,996341	0,470093
133	0,060939	81,415500	2,534391	2,742195	13,102624	0,491245
134	0,113925	97,833202	1,737416	3,618699	13,253256	0,581279
135	0,106732	93,253527	2,322683	4,015496	13,930987	0,400273
136	0,101286	86,157591	2,399052	2,026352	16,124042	0,464926
137	0,066562	94,324110	1,499189	4,551058	13,319301	0,488286
138	0,130677	75,447372	2,048325	4,036981	15,488042	0,505282
139	0,109970	73,747931	2,734786	4,042286	15,550168	0,409779
140	0,090933	83,331397	2,030097	4,814117	15,194055	0,526358
141	0,100946	85,650630	1,804233	5,114985	15,817319	0,535243
142	0,092645	83,396692	2,216445	4,841594	13,137129	0,450863
143	0,057673	77,508122	1,842334	3,516129	16,564208	0,483937

144	0,091738	97,195619	2,204592	3,948666	15,089286	0,437524
145	0,079844	79,080640	1,910995	4,325266	16,104133	0,573823
146	0,076436	95,614575	1,964164	2,687752	13,399502	0,518694
147	0,070767	102,263454	2,224285	2,943592	14,990041	0,484677
148	0,086860	94,512144	2,630075	3,566563	16,331448	0,451637
149	0,053468	95,330700	2,209169	4,030667	16,587932	0,503229
150	0,126760	91,386390	2,764991	5,826457	14,815785	0,575250
151	0,114220	79,947291	0,959804	4,831727	12,095512	0,512497
152	0,100335	94,232019	1,727041	3,544563	13,240283	0,517649
153	0,099456	104,212334	2,106007	3,343296	15,251189	0,438146
154	0,080726	110,049362	1,536282	5,614123	16,211827	0,506399
155	0,127801	90,562702	1,347384	6,276837	15,630987	0,537813
156	0,097045	78,355584	2,311191	4,140401	14,020553	0,431896
157	0,082858	96,250101	2,304993	3,506806	18,327701	0,553149
158	0,134107	98,032727	2,136996	2,596426	15,029345	0,614929
159	0,094360	92,700234	2,179055	5,034174	16,314131	0,421674
160	0,085968	84,133056	1,515258	4,272888	14,310044	0,396036
161	0,091127	113,074439	1,704010	5,306570	13,217797	0,494026
162	0,079565	70,364527	1,926120	3,088473	16,042470	0,535770
163	0,071395	89,673813	1,619406	4,216485	16,616882	0,493622
164	0,157792	81,972162	2,152343	3,317744	17,697180	0,489944
165	0,143382	88,706222	3,068497	5,396275	14,176081	0,498439
166	0,107650	97,728411	1,716414	3,419753	12,455118	0,443776
167	0,068468	95,970095	2,326820	3,903134	17,358480	0,419640
168	0,078727	88,057804	1,423443	3,654224	15,336002	0,571429
169	0,096290	102,051425	2,610684	5,065027	13,180495	0,513521
170	0,120705	100,744860	1,453212	4,416392	14,147401	0,438852
171	0,066937	101,060807	2,085308	2,951375	13,784808	0,549964
172	0,041309	90,609761	1,650422	3,335783	16,779454	0,435059
173	0,064000	105,479620	2,243190	2,930567	15,879677	0,490940
174	0,109286	101,323003	1,975337	4,489423	15,291658	0,535330
175	0,110529	115,711221	1,948129	4,311253	15,285912	0,456935
176	0,112678	105,655548	3,441636	2,265568	13,718637	0,479272
177	0,097401	106,301530	1,640451	2,104315	16,547633	0,500491
178	0,104855	94,977409	1,944111	3,950933	15,494941	0,585754
179	0,087833	82,152158	3,177745	4,708382	14,520450	0,523787
180	0,123255	91,403941	1,377439	4,150210	14,626892	0,476516
181	0,066058	87,726785	2,269423	2,433423	14,781099	0,486326
182	0,112790	89,313310	1,403157	2,408442	13,573519	0,482444
183	0,079455	100,226272	2,492358	4,900632	16,131531	0,558938
184	0,089714	89,341714	2,149791	3,854675	17,136655	0,482265
185	0,115110	86,657917	2,330969	3,601063	18,784320	0,459999
186	0,128867	91,046410	1,838957	5,465745	15,738372	0,511302
187	0,071987	93,514965	2,114971	3,214385	13,710296	0,493152
188	0,133282	98,661810	2,686034	4,099802	15,224479	0,538831

189	0,117792	86,039939	0,821861	4,397486	13,378831	0,545068
190	0,098632	97,634205	1,184185	4,857247	14,009575	0,550904
191	0,095423	95,311570	2,192651	3,145584	13,958188	0,531811
192	0,094526	107,724209	1,631185	4,330842	13,702062	0,530789
193	0,090877	92,870209	1,821737	6,371531	15,527601	0,582630
194	0,101032	93,613347	1,227211	2,523994	13,198734	0,440666
195	0,101747	83,636322	1,493462	4,427107	15,978549	0,479476
196	0,121957	81,110110	1,752632	3,761459	16,222290	0,415914
197	0,138803	97,490262	1,604294	3,190448	16,595504	0,543607
198	0,112925	92,646232	1,519539	3,182619	14,873610	0,499182
199	0,094737	99,536800	1,742198	4,463274	15,901415	0,481725
200	0,117156	86,736216	1,477602	6,078330	17,619769	0,413398
201	0,104726	111,369153	2,624910	3,230960	14,993002	0,507435
202	0,074990	95,878102	1,450406	4,524828	14,635140	0,483850
203	0,125926	105,364574	2,829911	3,399846	17,519959	0,432790
204	0,107541	92,730739	1,763862	5,958432	11,019648	0,440782
205	0,103933	93,427192	1,266501	4,530732	14,275960	0,460916
206	0,114068	101,492991	1,648563	3,863964	18,626539	0,484889
207	0,106303	100,306149	2,465546	4,607929	14,242824	0,419092
208	0,077207	84,734092	2,501501	3,983280	14,142124	0,488862
209	0,096578	79,784951	2,053328	5,224099	13,086149	0,529976
210	0,096878	84,775441	2,132962	3,804128	16,193384	0,477804
211	0,086938	80,785406	2,315788	2,879750	11,488929	0,461870
212	0,143874	95,059304	1,250779	4,221553	13,828247	0,514436
213	0,078456	90,915415	1,671621	5,644308	15,850169	0,551889
214	0,087537	91,490469	1,069329	2,763246	14,905541	0,475653
215	0,083089	81,526824	1,731172	3,743130	15,917929	0,474484
216	0,070199	102,166226	2,470960	5,081573	15,110037	0,429389
217	0,095720	99,105020	2,359395	2,058879	16,036451	0,448527
218	0,092262	93,816362	3,025454	4,614749	13,032768	0,529415
219	0,138941	104,948081	2,059884	4,766011	15,249151	0,491826
220	0,093315	86,797090	0,902825	4,200580	12,573188	0,536604
221	0,073745	98,831642	2,778977	3,248676	16,179355	0,533274
222	0,141242	97,894948	2,579027	3,975332	14,509311	0,519115
223	0,132472	97,947008	1,665989	4,063711	15,949052	0,536732
224	0,094071	87,933857	2,098394	4,977557	14,161404	0,568268
225	0,062317	97,767806	2,382770	4,650964	15,477098	0,528047
226	0,088591	89,571097	2,170834	3,651760	16,651562	0,521673
227	0,096720	86,570382	2,343697	5,711900	11,900372	0,495836
228	0,106652	83,138152	1,918093	3,942577	12,009163	0,436708
229	0,092834	105,259838	1,954633	3,209773	12,219720	0,472105
230	0,112381	87,018413	2,024294	3,559151	16,279819	0,515522
231	0,110623	93,299634	1,568756	4,888772	15,542810	0,442310
232	0,068630	83,015797	2,665272	4,178239	13,878968	0,524401
233	0,076774	92,150629	1,974917	4,930608	17,263687	0,515169

234	0,082090	65,948066	2,338378	4,027725	15,147246	0,503430
235	0,087061	84,903067	1,527626	6,203702	12,508948	0,514082
236	0,090018	80,440148	1,411279	2,222852	13,355179	0,499926
237	0,100759	85,529662	1,934480	3,579650	12,845292	0,497149
238	0,013169	92,817296	1,851815	3,906318	16,478572	0,498157
239	0,088376	91,804547	2,562710	4,058715	14,052903	0,544402
240	0,132679	112,229248	2,295937	5,555607	13,149994	0,493296
241	0,073553	89,163309	2,258128	4,203458	14,104040	0,374439
242	0,125312	92,599055	1,273952	3,883395	13,684200	0,473219
243	0,110268	79,145406	1,455839	4,022287	16,301247	0,508475
244	0,099878	90,046376	2,079492	4,759561	15,675196	0,545695
245	0,104629	81,811087	1,790259	3,264062	15,430407	0,561369
246	0,061515	94,727461	2,587253	4,435762	15,554264	0,450569
247	0,098275	102,920860	2,617438	2,357181	14,979989	0,536107
248	0,141699	98,440308	1,674498	3,915467	13,453118	0,510628
249	0,102521	88,113178	2,435168	3,036859	15,810350	0,487309
250	0,101464	78,158560	2,636794	3,324319	13,728459	0,500186
251	0,082374	108,864577	2,147476	4,262917	13,282538	0,496883
252	0,099682	113,833629	2,748403	2,873336	13,276267	0,505128
253	0,105758	95,823863	2,507997	2,980496	16,327187	0,510376
254	0,111718	85,754015	2,087553	2,499999	16,514277	0,462986
255	0,089421	106,760800	2,436549	1,408786	12,353688	0,445092
256	0,093915	88,959790	2,074673	3,844370	14,688053	0,545984
257	0,150633	90,107719	1,748942	5,296120	15,315965	0,486610
258	0,046093	103,442405	2,161865	3,811896	14,030708	0,564349
259	0,153122	81,218643	1,989559	3,754433	16,154777	0,452161
260	0,109597	75,017549	1,772053	2,926323	15,323452	0,467390
261	0,127046	98,846357	2,797604	5,650056	14,678256	0,564815
262	0,059821	98,343432	2,096224	3,740867	14,159070	0,563559
263	0,085777	95,416665	3,270547	5,422145	16,020932	0,446480
264	0,092007	99,425066	1,823956	4,332861	16,287703	0,509039
265	0,111562	105,751030	2,277765	3,701104	15,650284	0,560735
266	0,059502	104,368473	2,718282	5,161722	14,535450	0,559816
267	0,113028	89,251569	3,219173	5,040006	16,402948	0,436120
268	0,069235	102,619544	2,144041	3,887118	13,540914	0,573760
269	0,101802	96,380996	1,566437	5,445388	15,167696	0,532630
270	0,117599	89,856317	2,403651	5,803467	17,154089	0,509866
271	0,108907	83,276094	1,335400	3,931335	14,618628	0,486194
272	0,129283	101,044419	1,845945	3,719287	13,670756	0,448905
273	0,127355	91,656879	2,122968	4,369335	17,956864	0,502700
274	0,084146	94,879724	2,689950	4,320308	14,528939	0,484410
275	0,106087	87,228657	2,678910	4,846633	15,603645	0,604002
276	0,077077	79,494515	1,957378	3,723749	13,805813	0,507651
277	0,067576	96,347435	2,455457	4,717694	15,394281	0,489324
278	0,124949	94,137487	1,796928	5,124549	15,637458	0,497587

279	0,100566	106,908257	2,332637	4,157537	14,917939	0,466963
280	0,099215	102,452000	2,869085	4,129803	15,472278	0,595390
281	0,124743	105,584370	2,052285	2,700903	16,841853	0,531026
282	0,115948	87,763209	1,816395	2,801739	12,825506	0,502094
283	0,110167	86,352473	1,699731	2,546730	15,235306	0,552917
284	0,133080	82,495680	2,351436	2,707832	11,793851	0,496505
285	0,125258	99,475513	2,605470	3,842862	14,965982	0,492934
286	0,105874	121,402572	2,958749	2,315038	17,891345	0,468874
287	0,083367	101,750579	1,999768	6,017662	16,444464	0,466516
288	0,083952	87,508767	2,055559	4,740956	14,894144	0,572309
289	0,132259	102,779524	1,637119	1,924500	14,466244	0,537081
290	0,060450	84,573395	2,741553	2,849436	15,781249	0,502296
291	0,100068	80,589694	1,935455	3,894008	16,665225	0,577275
292	0,054467	101,737626	1,721653	2,147907	14,945619	0,499539
293	0,128004	87,278638	2,980351	3,524687	17,357115	0,513392
294	0,123008	97,513193	2,409066	5,168758	13,757400	0,431312
295	0,100709	108,239788	2,348018	3,821623	11,723177	0,525027
296	0,098589	98,386471	1,441913	3,929718	13,831860	0,428172
297	0,037335	103,994404	2,198932	2,958878	14,601416	0,447740
298	0,115578	78,633226	2,245245	3,414131	14,381359	0,544748
299	0,047397	101,374074	1,391499	2,643729	13,645976	0,517136
300	0,042978	114,205562	1,877177	4,342225	17,065323	0,455457
301	0,102040	99,985119	1,751763	3,527588	12,491518	0,476683
302	0,076595	79,684533	2,254908	4,799168	14,208541	0,512269
303	0,111316	93,082535	1,433536	5,374568	13,424173	0,509512
304	0,118306	89,975873	2,517585	5,147600	14,225955	0,415498
305	0,122813	98,108125	2,805659	3,955004	13,947146	0,437984
306	0,083153	98,719137	1,808961	3,477977	15,683484	0,410091
307	0,112493	98,496310	1,965134	2,732252	13,350198	0,494416
308	0,102814	91,519857	2,241407	4,086699	13,746793	0,411835
309	0,122263	88,847039	2,567656	4,997331	15,062359	0,534609
310	0,114552	89,028702	2,250140	3,659316	16,697197	0,447123
311	0,124375	103,032783	2,181683	3,813745	12,079652	0,443137
312	0,097134	76,045961	1,711692	4,603554	17,568759	0,579132
313	0,096734	92,987901	1,875871	4,897235	13,590183	0,597501
314	0,127493	97,023567	2,309088	2,572091	15,930098	0,459047
315	0,051352	88,575405	2,777283	4,189422	16,640655	0,496261
316	0,087271	99,315069	2,284862	4,185889	17,038277	0,586914
317	0,068178	94,030047	1,364817	3,851874	14,202958	0,469716
318	0,089234	86,261784	2,196331	4,934220	14,956494	0,577984
319	0,117340	96,171135	1,930805	3,644773	14,654618	0,540654
320	0,121847	92,458261	1,857091	3,197747	14,038946	0,501718
321	0,075597	90,948245	1,880577	4,254635	15,345779	0,478766
322	0,087909	88,033481	1,514589	4,442553	15,507953	0,576709
323	0,104134	95,081453	1,800929	3,785348	14,429519	0,534940

324	0,091318	76,536689	1,575579	4,826792	15,131051	0,465250
325	0,107361	91,197786	1,770051	2,473947	19,014186	0,519462
326	0,110895	89,423298	2,031406	2,915650	14,883710	0,455007
327	0,077357	86,439512	2,064579	0,815123	16,062809	0,505691
328	0,096135	101,249031	1,881736	4,497498	14,262142	0,568741
329	0,050447	87,803267	1,904575	2,963630	14,182100	0,526680
330	0,131631	99,871498	1,986808	3,731444	14,435934	0,461288
331	0,084451	104,660179	2,218538	5,097624	15,840618	0,516922
332	0,069983	93,520774	2,575433	4,010260	13,813169	0,462276
333	0,093166	97,057237	2,314488	3,553656	12,135587	0,591085
334	0,064644	100,927124	1,829194	3,165711	15,004179	0,407919
335	0,100150	93,935634	2,291473	3,748739	14,303005	0,463270
336	0,086234	99,896459	1,853482	4,587362	15,367611	0,537484
337	0,151389	82,605940	1,085083	2,492642	15,053834	0,458605
338	0,131459	105,931793	0,789853	3,923222	16,098108	0,498780
339	0,035460	85,824263	1,129490	4,787047	16,382366	0,532335
340	0,112215	76,852851	1,867290	2,566424	12,971298	0,556758
341	0,065701	107,913525	1,645986	4,672260	12,669150	0,451131
342	0,093058	94,133000	1,608646	4,699038	15,731445	0,489577
343	0,104383	99,189386	1,994534	3,120937	15,436123	0,474178
344	0,119883	91,550122	1,628338	2,538037	13,459067	0,491522
345	0,092451	85,434186	1,640205	4,419559	16,877502	0,518405
346	0,140236	67,571627	2,303285	4,855371	14,974639	0,465973
347	0,087726	100,760183	2,388511	4,561485	15,102307	0,539746
348	0,109082	92,190588	3,126101	4,777786	15,353376	0,521846
349	0,117825	93,132356	2,139919	2,787692	16,141356	0,473818
350	0,102240	98,552371	2,002891	4,568059	17,295949	0,512782
351	0,123824	80,747777	1,680188	3,391509	14,510529	0,546915
352	0,108674	87,866846	1,888364	3,394245	12,429429	0,547913
353	0,081183	106,048740	1,941133	2,377641	16,576182	0,532846
354	0,056546	100,505614	1,095127	5,206168	13,484753	0,494793
355	0,148855	82,312134	1,847972	4,156040	16,896202	0,465779
356	0,085156	72,059182	2,368086	5,074583	14,073973	0,509837
357	0,102916	89,201538	1,681552	5,607114	17,256477	0,474719
358	0,115213	96,699003	2,236896	2,863086	13,796051	0,479799
359	0,103461	104,056668	2,477275	4,636536	13,236398	0,544020
360	0,077736	95,376757	2,512478	3,973090	16,483530	0,565973
361	0,088173	84,628684	2,381754	4,960192	12,878098	0,528903
362	0,097551	97,368132	0,841036	5,233513	16,021964	0,593997
363	0,137538	83,480817	1,686882	4,868723	15,588849	0,423270
364	0,079175	85,986526	2,445878	3,204722	14,691862	0,499356
365	0,120468	88,540721	2,175171	3,867155	14,447420	0,502991
366	0,107869	82,846993	1,970140	4,234547	18,257683	0,572870
367	0,093994	92,332628	2,202410	6,537956	14,377550	0,526182
368	0,074383	86,484267	2,530310	5,362374	14,605938	0,480311

369	0,091887	92,255828	2,047500	6,104029	13,473073	0,527803
370	0,098229	90,173720	1,590045	4,392130	13,767425	0,531532
371	0,063790	91,042374	1,892385	4,192559	14,098629	0,507045
372	0,105139	89,952029	1,885256	4,599666	17,495138	0,398812
373	0,080230	107,171716	2,440184	3,457884	14,347223	0,548780
374	0,098067	100,680432	2,187831	5,383729	13,890035	0,350542
375	0,109387	94,994511	2,264119	3,835317	14,284783	0,504004
376	0,077880	80,269370	2,040922	2,632771	16,078556	0,422655
377	0,091651	78,577389	1,779480	4,914635	12,998573	0,478485
378	0,109896	74,596543	2,005117	2,343441	15,922139	0,562729
379	0,055898	116,261807	2,088921	2,124697	12,968080	0,470874
380	0,128458	104,502827	1,296340	4,264677	14,710685	0,583309
381	0,155927	96,916439	2,066767	3,021126	12,290283	0,538232
382	0,126236	85,919732	2,459083	3,079047	15,802411	0,485095
383	0,090202	84,278039	1,922157	3,829205	16,056332	0,453711
384	0,111841	100,056531	2,712569	3,501584	13,903540	0,472704
385	0,074832	109,456174	2,274864	3,777234	15,455861	0,518855
386	0,149848	77,713344	1,744447	4,252098	15,205364	0,382681
387	0,125650	90,323997	1,901806	2,807519	16,769205	0,529591
388	0,120669	93,872092	1,841596	2,729307	15,116263	0,512964
389	0,078408	74,333689	2,107593	1,778275	16,624114	0,540070
390	0,108453	102,870237	2,371691	3,590045	14,744800	0,592333
391	0,086344	90,794945	1,826921	4,656014	13,979744	0,480692
392	0,090341	111,580055	2,220258	3,259776	14,863415	0,448019
393	0,086034	91,248896	2,790315	4,472647	14,590442	0,554530
394	0,075203	98,605800	2,462253	4,520687	16,348204	0,542553
395	0,077559	84,386986	2,412558	5,061564	14,841570	0,490510
396	0,094570	88,736924	1,547816	5,045193	13,681747	0,467789
397	0,059340	83,678725	1,692417	3,272642	14,673069	0,511872
398	0,116639	98,243765	2,108898	3,132329	16,806296	0,441313
399	0,097805	107,642513	1,927870	4,005932	14,315727	0,501900
400	0,118540	88,942569	1,188727	3,294790	13,966700	0,464528
401	0,106452	99,013981	1,221688	5,546615	16,517270	0,458819
402	0,113738	89,883920	2,487947	5,525867	15,070426	0,546337
403	0,063086	95,553467	1,594120	4,070670	14,398683	0,500684
404	0,075433	106,624124	2,937240	3,560634	13,848112	0,561203
405	0,088487	95,759492	0,900400	4,494636	12,781022	0,443253
406	0,103333	85,271375	2,207770	3,309392	15,187072	0,510887
407	0,131034	86,981343	1,967549	3,875426	14,497882	0,444799
408	0,091543	93,337137	1,599345	3,445479	15,464094	0,530229
409	0,133628	93,178945	2,185741	4,076542	12,801707	0,558451
410	0,113199	86,810224	1,559725	5,253834	17,029469	0,549042
411	0,132009	96,521017	2,427901	4,754860	15,688258	0,390429
412	0,103853	107,394080	2,008773	5,278588	12,533808	0,533697
413	0,083876	92,497996	1,148831	3,076335	16,677589	0,498611

414	0,063385	93,034675	0,728079	4,164684	14,089765	0,515951
415	0,104203	72,656280	1,833952	2,981271	15,421841	0,469475
416	0,121486	87,488245	2,539054	4,361291	15,261818	0,418182
417	0,091250	81,023703	2,071277	4,304066	13,602601	0,542358
418	0,086715	91,299195	2,001681	5,450024	10,326845	0,471714
419	0,090386	99,659679	2,341475	5,187352	15,791641	0,480190
420	0,072340	109,197816	1,304042	4,643214	14,442078	0,506774
421	0,087421	111,084786	2,672118	3,470531	14,054452	0,623794
422	0,095894	93,704290	1,509341	3,510951	15,568682	0,601128
423	0,101533	91,925207	1,992396	1,973400	13,897307	0,433369
424	0,098752	102,688458	1,776154	3,539732	16,001759	0,473602
425	0,116718	99,356552	2,043378	2,423084	15,178029	0,546927
426	0,103219	101,933274	0,974745	4,962657	13,383258	0,393643
427	0,147650	102,076067	2,702643	4,951939	16,272155	0,555598
428	0,107927	80,158350	2,259376	4,109664	15,662628	0,481210
429	0,146225	99,772240	2,913881	3,605239	16,934417	0,563099
430	0,082797	93,767901	2,659061	4,118201	13,561640	0,454654
431	0,114370	87,581052	1,977932	5,692169	13,555037	0,452347
432	0,092906	88,294469	1,483688	5,476289	15,446917	0,605774
433	0,116303	107,432436	1,119754	3,536140	15,974168	0,528652
434	0,115840	87,184402	1,982131	4,145513	16,259979	0,481296
435	0,047660	82,733680	2,094165	2,884962	14,930313	0,446238
436	0,067213	96,715841	2,497788	4,367211	14,545627	0,552561
437	0,064530	112,913877	1,476285	4,734999	15,944620	0,516425
438	0,111162	94,661497	2,400302	4,944854	18,059486	0,386177
439	0,137041	97,415169	2,014865	2,460541	16,353185	0,453994
440	0,089895	86,273256	1,584952	4,483678	15,049538	0,643174
441	0,121171	109,740393	2,378481	3,123379	14,125241	0,497745
442	0,114831	95,893645	2,118529	3,613054	15,723519	0,402499
443	0,074623	99,733820	1,869100	4,810704	14,217930	0,454381
444	0,110829	86,129481	2,849642	4,281140	15,273538	0,476238
445	0,081849	103,102815	2,297505	3,824556	16,175554	0,534129
446	0,138386	98,124224	1,920714	4,590187	16,409796	0,489898
447	0,099592	83,935975	2,124763	5,742067	15,869226	0,503747
448	0,143088	94,837556	2,022535	3,355483	17,086539	0,497260
449	0,089057	90,259054	2,061302	2,651240	17,727236	0,449412
450	0,115651	95,592270	2,212864	2,844744	11,944403	0,553867
451	0,099021	92,519854	1,657045	3,027634	12,320831	0,478135
452	0,052377	93,217875	1,554920	3,289583	13,518162	0,475138
453	0,076203	85,290214	2,163602	4,555770	11,683676	0,508172
454	0,116884	91,873886	2,854072	1,888144	14,415695	0,494529
455	0,099275	101,951171	1,806929	4,207069	14,473385	0,470703
456	0,071792	110,320725	1,431131	3,247095	15,309412	0,504787
457	0,084529	83,853337	1,863489	5,197932	15,374462	0,596914
458	0,106063	115,535005	1,711365	3,142871	13,926978	0,527256

459	0,075818	109,317893	1,795433	3,992808	13,775083	0,463948
460	0,126960	96,295865	2,230220	3,039236	16,202284	0,455884
461	0,084339	92,014395	1,912490	3,278432	14,353349	0,485502
462	0,146773	88,197499	1,662427	3,715066	12,871723	0,421356
463	0,072948	102,705888	1,732630	3,769589	14,939263	0,581931
464	0,105367	88,259450	1,324771	3,462474	15,229565	0,508794
465	0,061565	90,206236	1,524762	5,246644	14,328131	0,439635
466	0,082600	103,344224	1,288932	4,543481	15,956464	0,504676
467	0,085639	98,993152	1,699407	5,866699	15,271477	0,429040
468	0,111052	103,535849	1,393980	3,693559	14,562415	0,528341
469	0,125758	99,556150	1,617189	5,134930	14,852780	0,488972
470	0,107192	91,189313	1,815248	1,845407	15,625975	0,501210
471	0,089297	89,614676	1,369740	4,630238	14,290855	0,517906
472	0,121234	102,365986	1,961232	4,351391	13,329656	0,541581
473	0,120907	88,438599	2,153601	3,620340	14,659412	0,459518
474	0,103611	106,521010	1,460486	4,702883	15,123235	0,426799
475	0,115351	102,278877	2,524700	4,921114	15,752170	0,491977
476	0,111533	97,149353	1,204934	5,103641	14,869618	0,458062
477	0,076046	94,570760	1,759661	4,403370	14,272238	0,521438
478	0,120228	97,977013	1,233820	4,579591	15,886506	0,403009
479	0,083653	122,921493	1,791620	3,283307	14,757860	0,541919
480	0,085372	93,731245	1,315251	2,902785	16,234004	0,514734
481	0,104444	79,363954	1,676791	3,697771	14,800304	0,442187
482	0,090517	111,889367	1,600876	4,172562	14,899870	0,480734
483	0,097356	100,629231	1,372694	4,984994	14,792420	0,540716
484	0,116217	88,651444	0,939099	3,240858	13,524172	0,610969
485	0,128914	117,381964	2,281582	3,496540	13,498248	0,479096
486	0,095027	100,187855	2,907101	6,425942	13,441281	0,562228
487	0,109174	97,307291	2,992358	3,360488	17,549089	0,456302
488	0,093672	87,310900	1,707559	5,911889	14,586141	0,509303
489	0,105592	85,046346	1,946097	5,005988	16,435209	0,487444
490	0,111976	77,153592	1,725153	3,409189	15,498884	0,516242
491	0,084795	90,662603	2,015846	3,894889	17,747037	0,472491
492	0,106580	85,093528	1,487887	3,788384	16,420899	0,430690
493	0,116489	101,156539	0,999502	4,446269	13,062684	0,483122
494	0,102448	91,960894	1,956100	5,502271	14,492892	0,522811
495	0,145252	110,634736	1,356947	2,242649	16,363356	0,471950
496	0,084985	108,939022	1,052491	5,985222	15,395886	0,488489
497	0,082263	96,222311	3,096785	4,780995	18,408141	0,520198
498	0,058184	92,284852	1,872262	3,426092	14,842735	0,527017
499	0,124455	106,187868	2,181988	3,869448	12,614305	0,461420
500	0,123606	84,181956	2,545670	4,287271	15,613403	0,483188

ANEXO B - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DA ENERGIA MENSAL E ANUAL

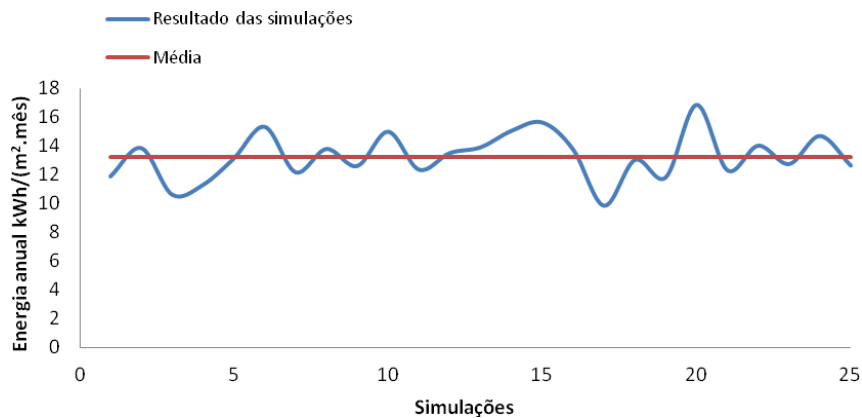


Figura B-1: Energia mensal das salas de aula no mês de fevereiro para uma ventilação de 2 renovações horárias

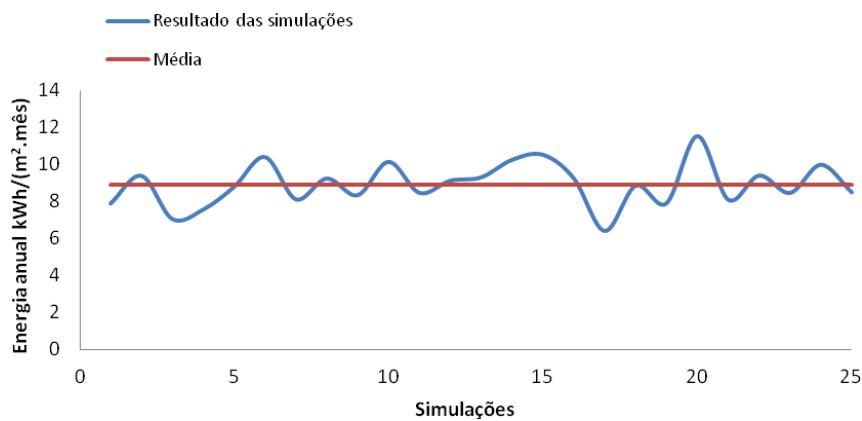


Figura B-2: Energia mensal das salas de aula no mês de março para uma ventilação de 2 renovações horárias

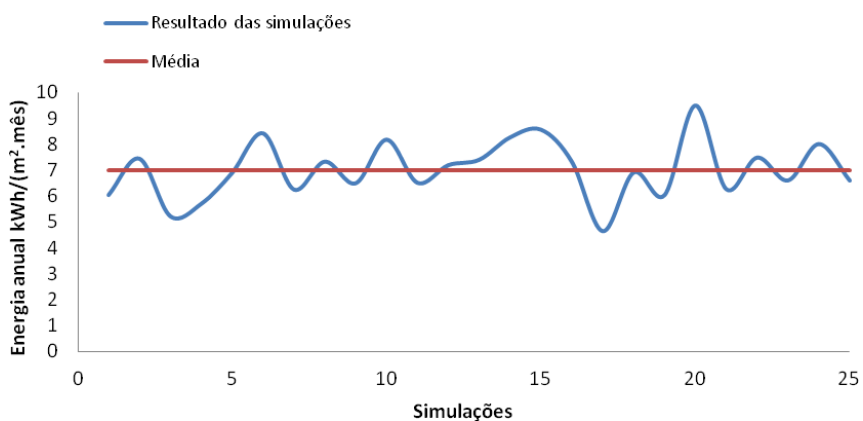


Figura B-3: Energia mensal das salas de aula no mês de abril para uma ventilação de 2 renovações horárias

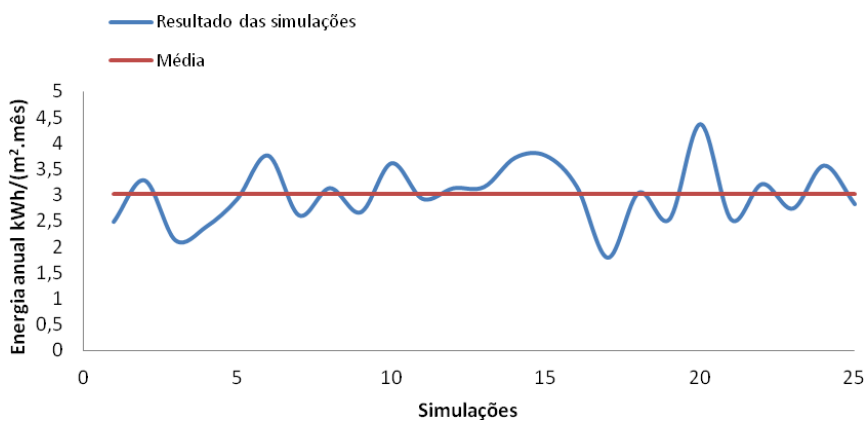


Figura B-4: Energia mensal das salas de aula no mês de maio para uma ventilação de 2 renovações horárias

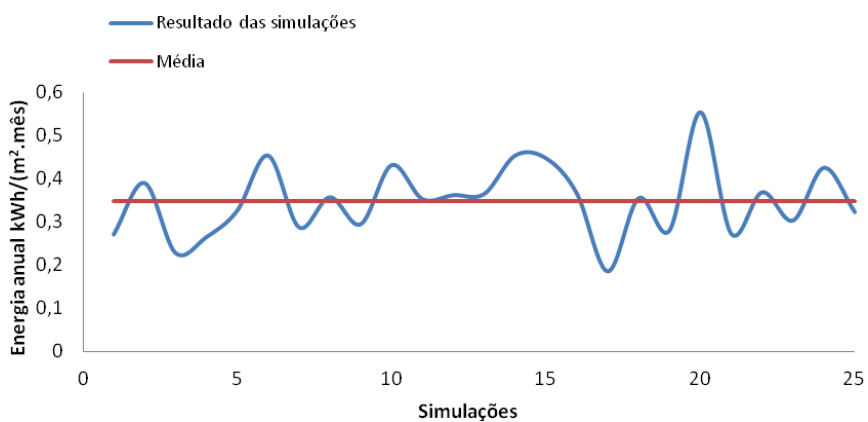


Figura B-5: Energia mensal das salas de aula no mês de junho para uma ventilação de 2 renovações horárias

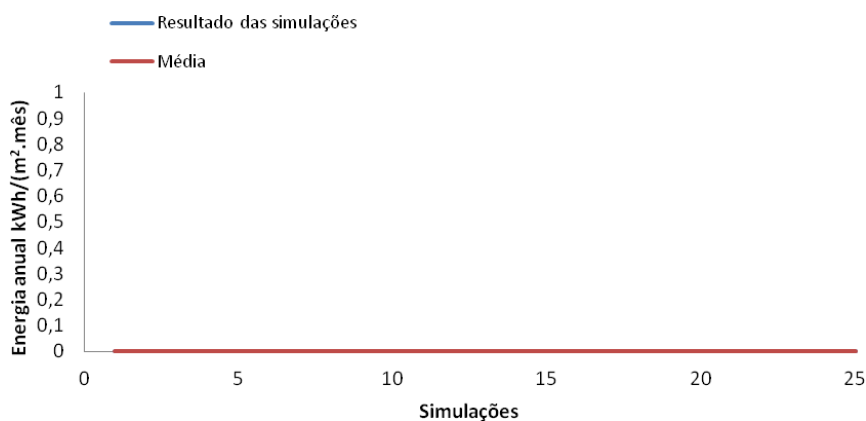


Figura B-6: Energia mensal das salas de aula no mês de julho para uma ventilação de 2 renovações horárias

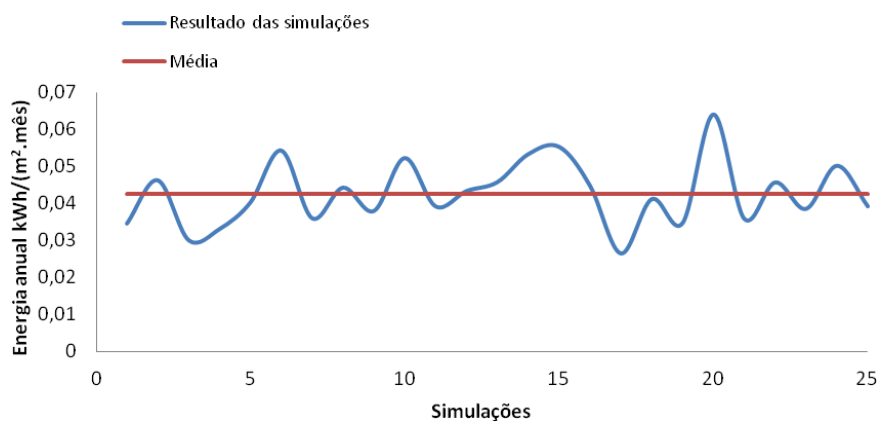


Figura B-7: Energia mensal das salas de aula no mês de agosto para uma ventilação de 2 renovações horárias

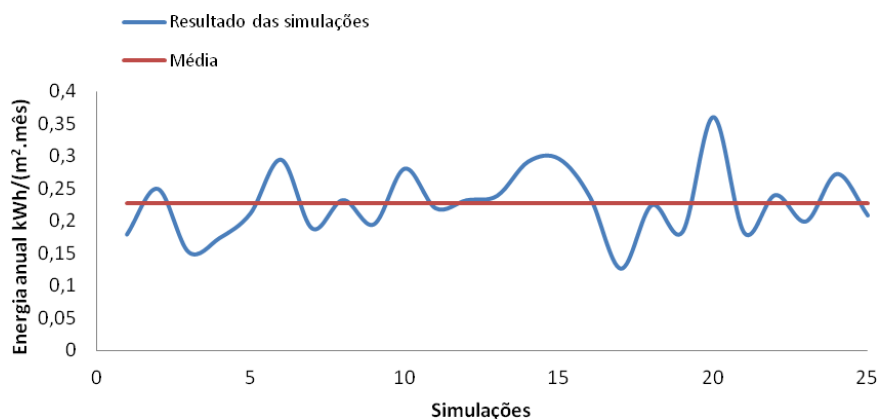


Figura B-8: Energia mensal das salas de aula no mês de setembro para uma ventilação de 2 renovações horárias

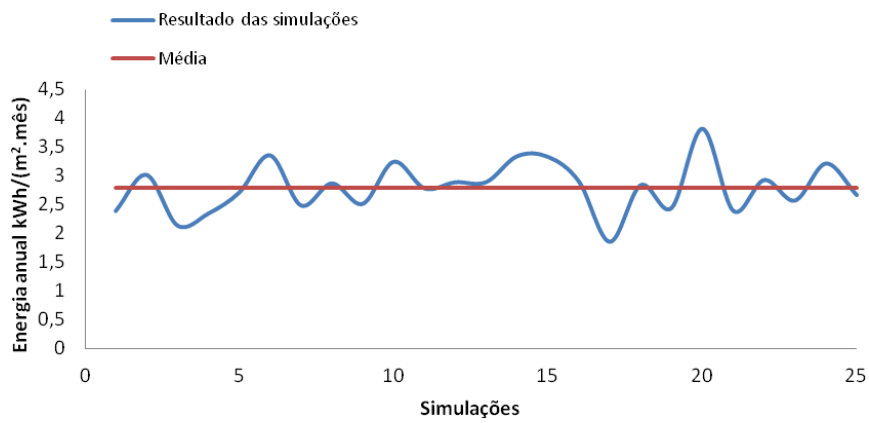


Figura B-9: Energia mensal das salas de aula no mês de outubro para uma ventilação de 2 renovações horárias

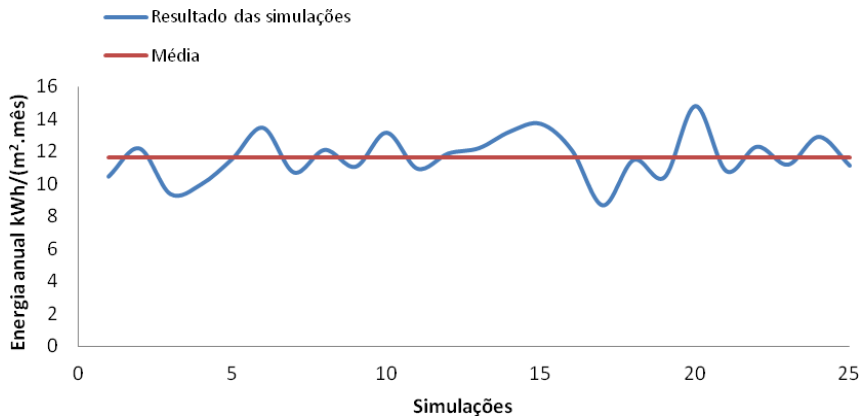


Figura B-10: Energia mensal das salas de aula no mês de novembro para uma ventilação de 2 renovações horárias

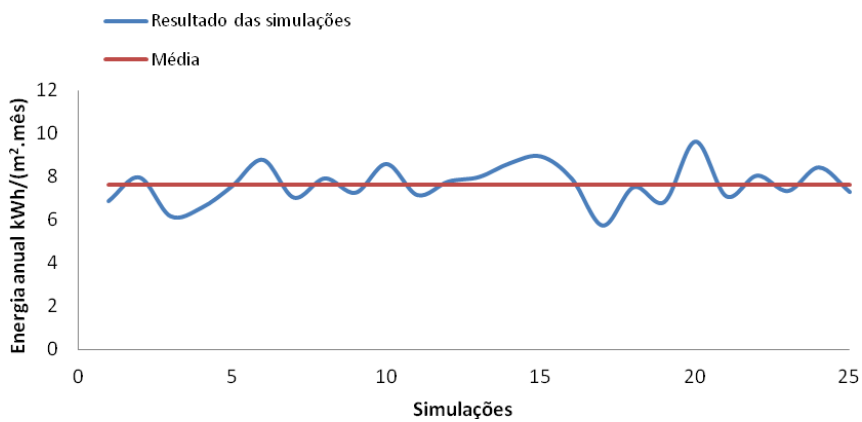


Figura B-11: Energia mensal das salas de aula no mês de dezembro para uma ventilação de 2 renovações horárias

Histogramas mensais, distribuição acumulada e box-plot do caso das 25 simulações para uma ventilação de 2 renovações horárias

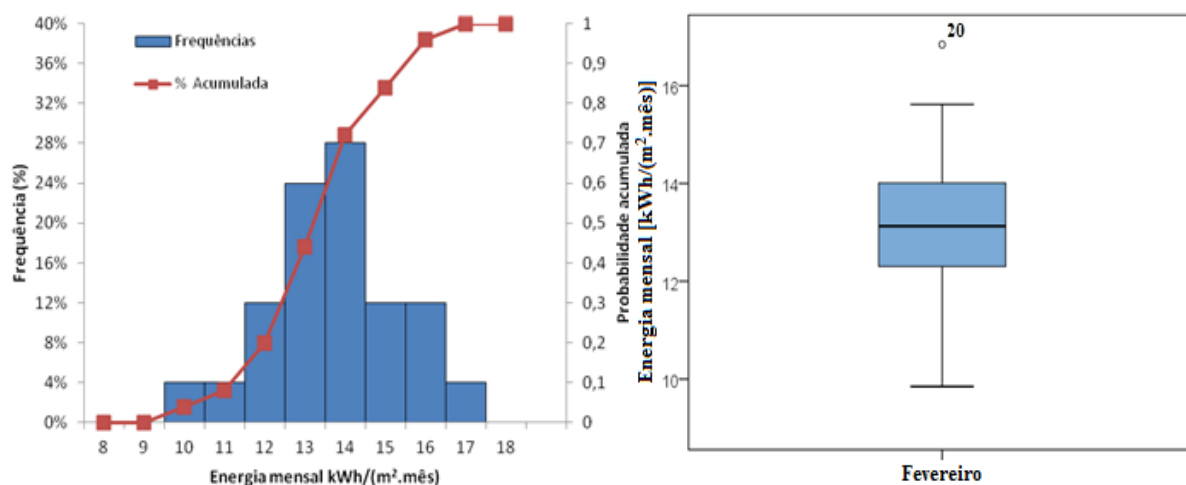


Figura B-12: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de fevereiro das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias

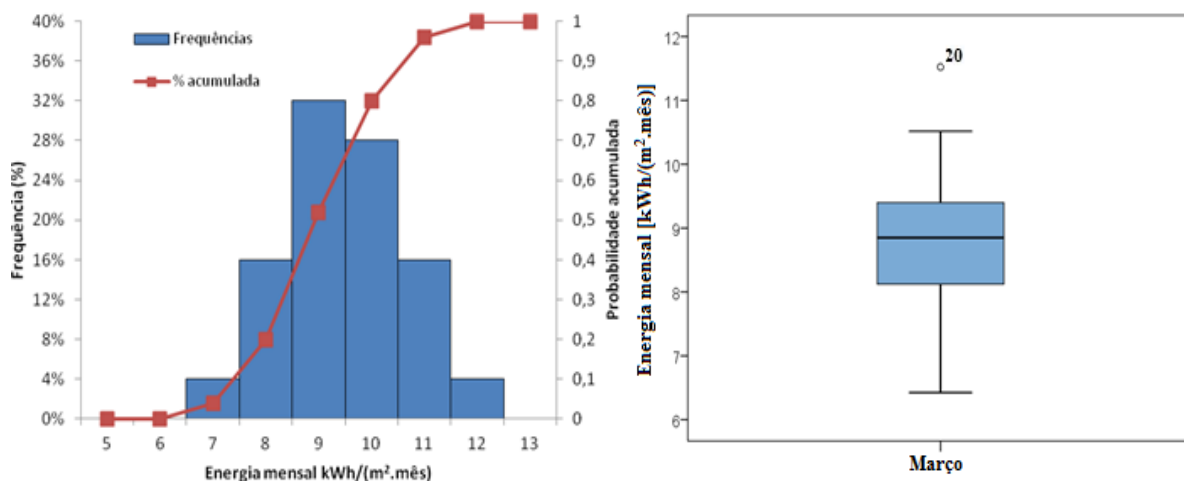


Figura B-13: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de março das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias

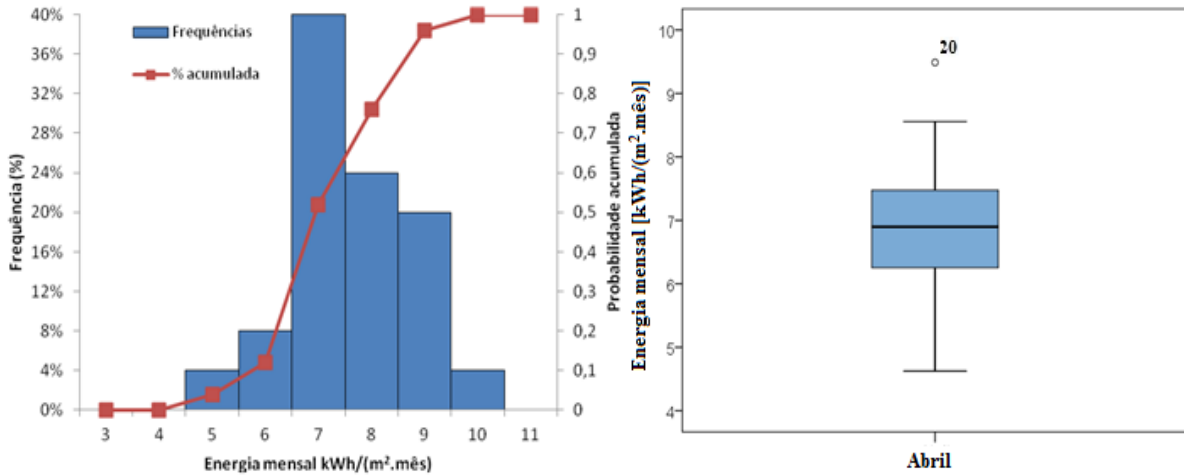


Figura B-14: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de abril das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias

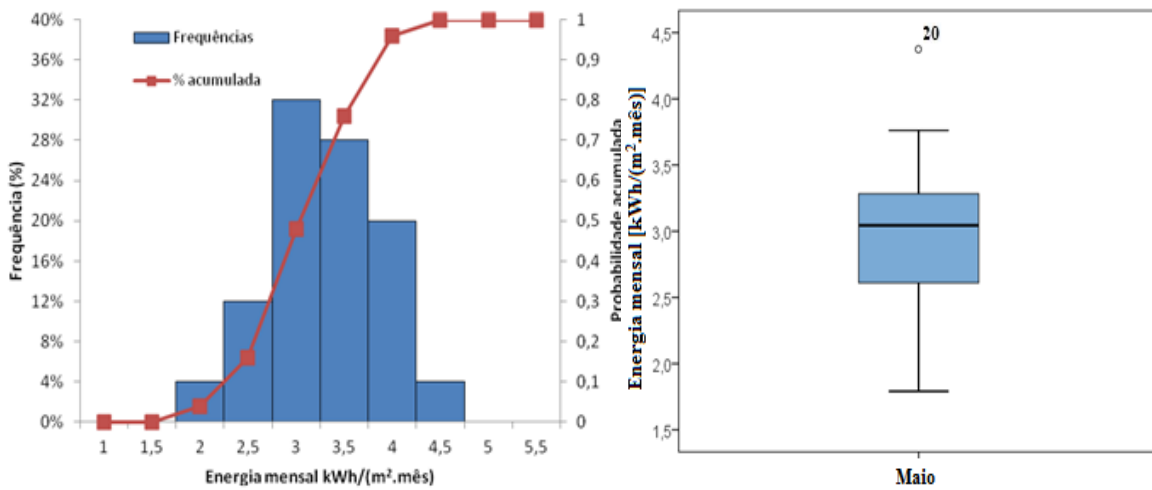


Figura B-15: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de maio das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias

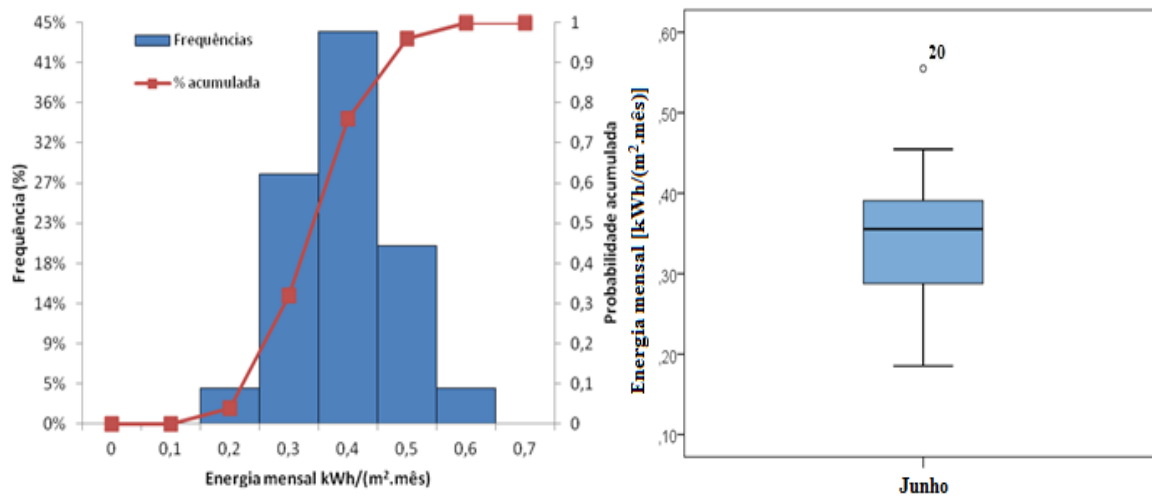


Figura B-16: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de junho das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias

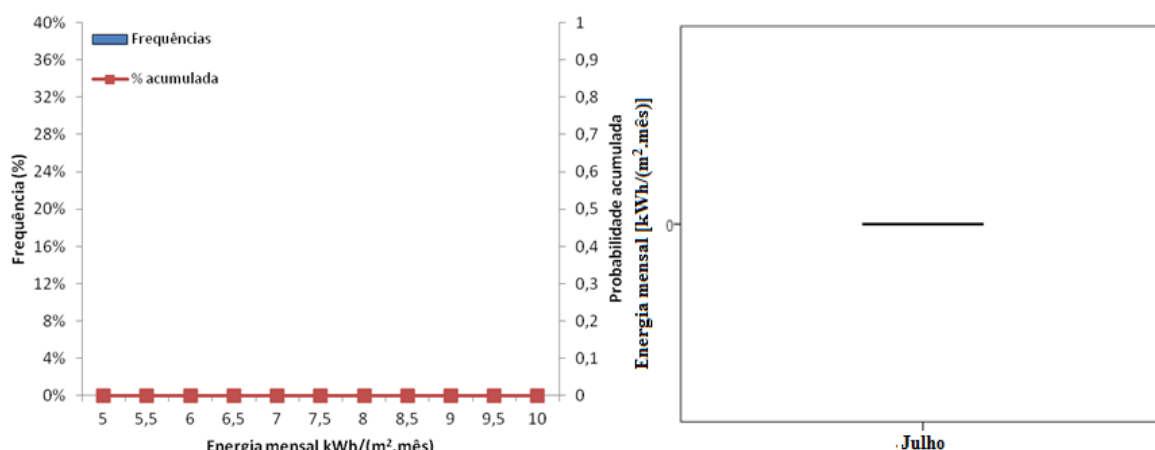


Figura B-17: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de junho das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias

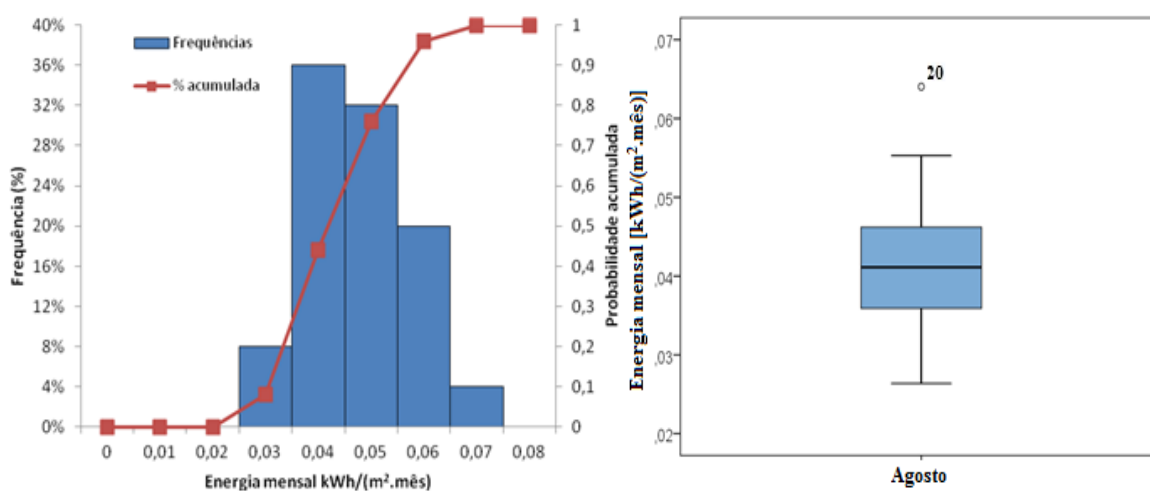


Figura B-18: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de agosto das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias

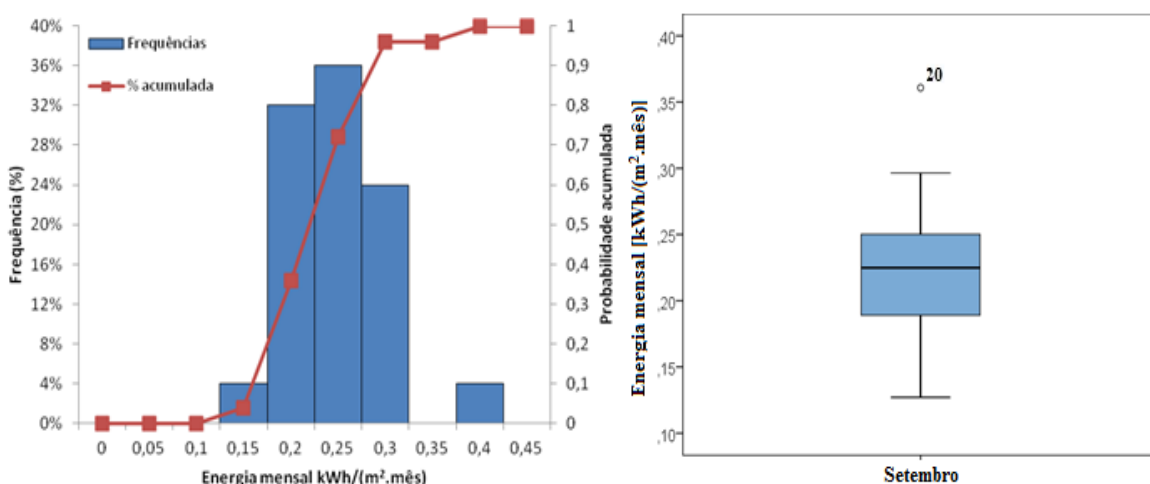


Figura B-19: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de setembro das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias

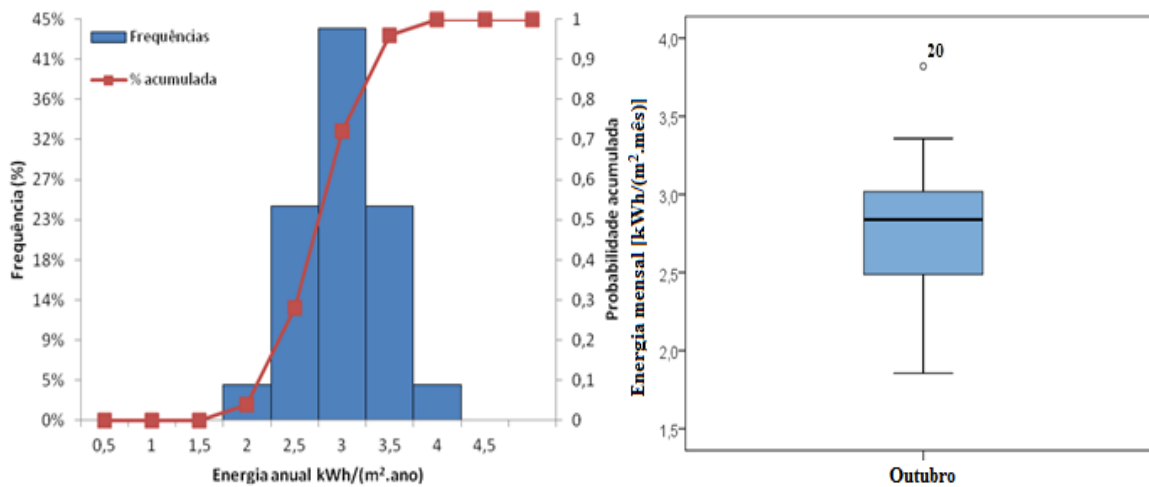


Figura B-20: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de outubro das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias

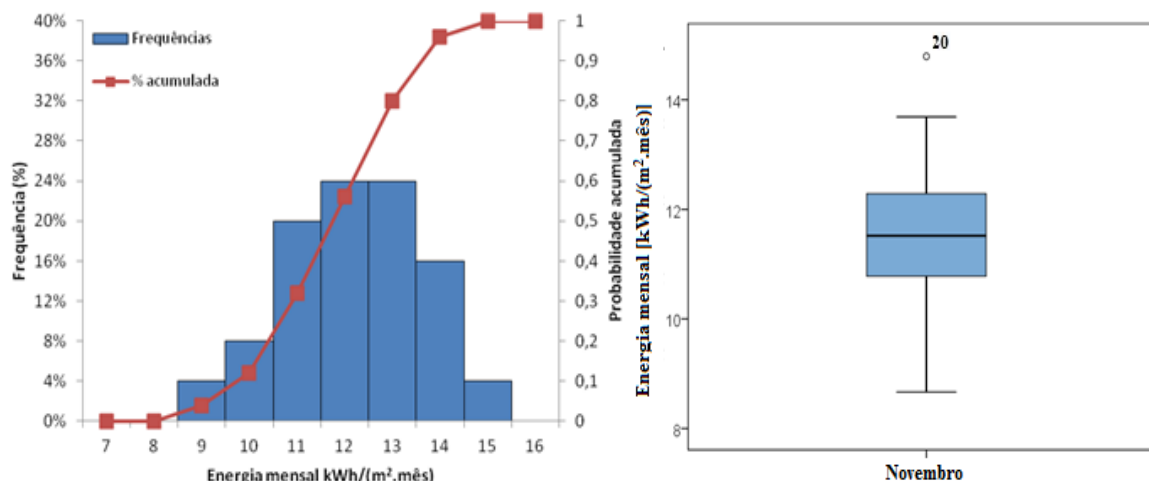


Figura B-20: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de novembro das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias

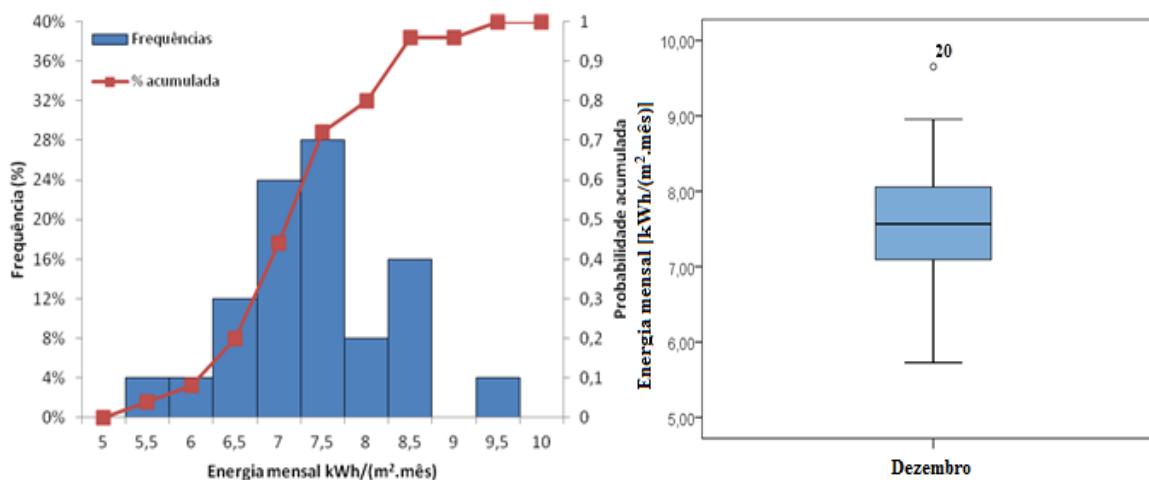


Figura B-21: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de dezembro das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias

Resultados da energia média mensal para 25 simulações e uma ventilação de 2 renovações horárias

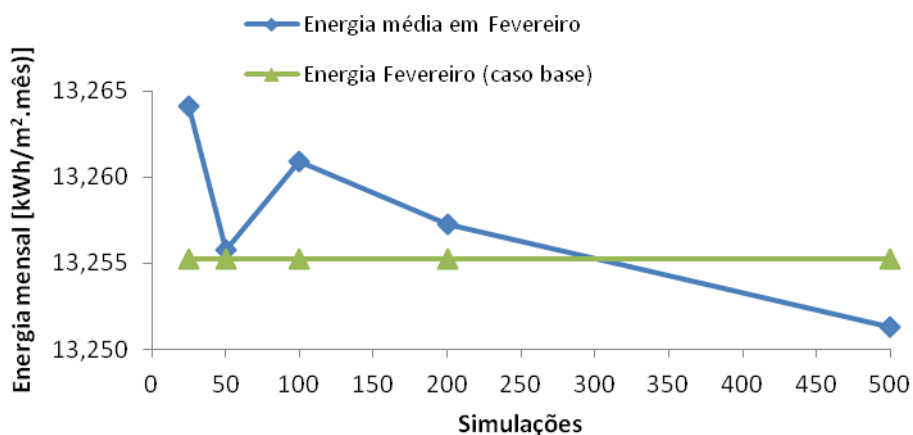


Figura B-22: Energia média nas salas de aula no mês de fevereiro para uma ventilação de 2 renovações horárias

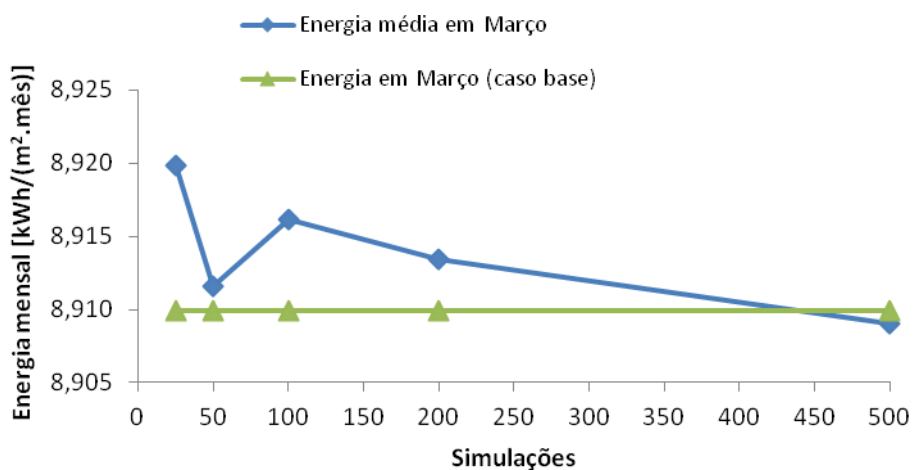


Figura B-23: Energia média nas salas de aula no mês de março para uma ventilação de 2 renovações horárias

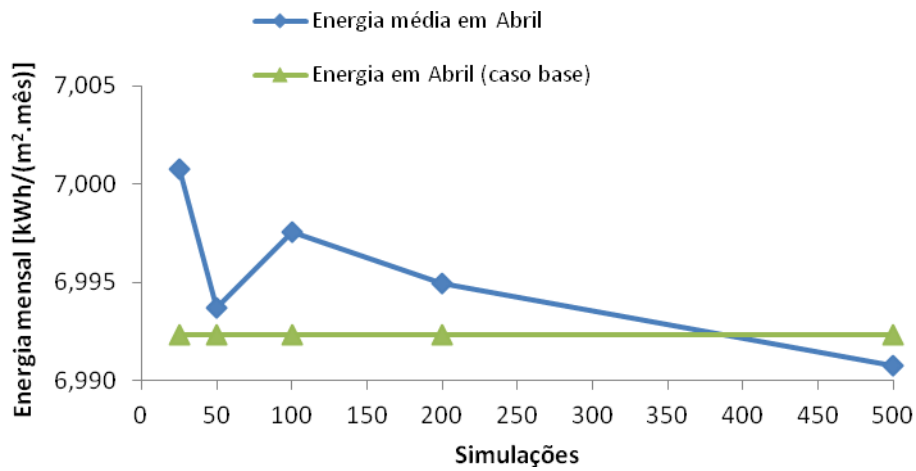


Figura B-24: Energia média nas salas de aula no mês de abril para uma ventilação de 2 renovações horárias

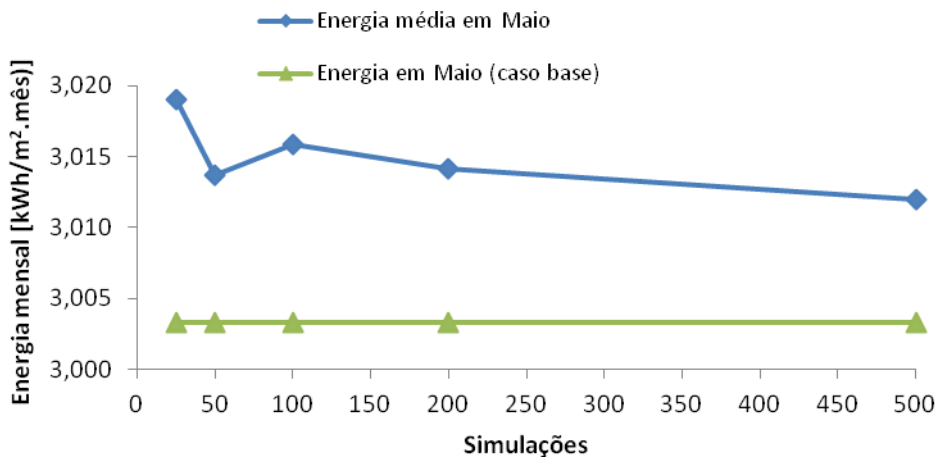


Figura B-25: Energia média nas salas de aula no mês de maio para uma ventilação de 2 renovações horárias

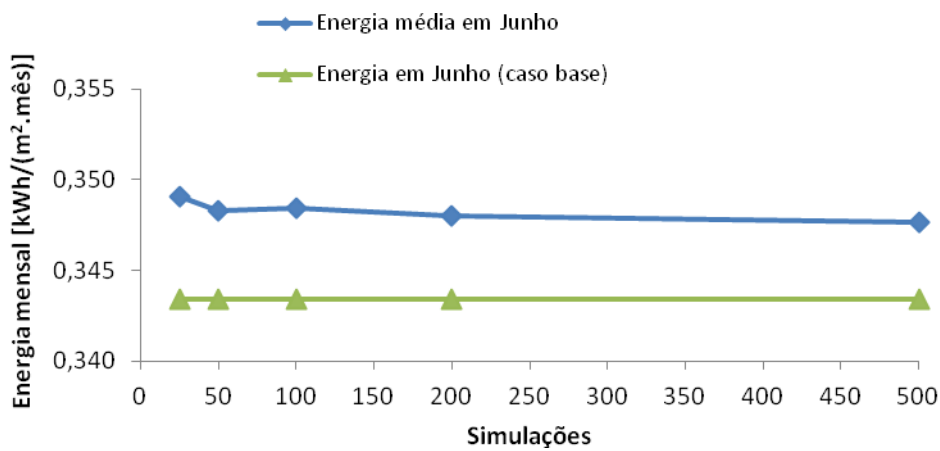


Figura B-26: Energia média nas salas de aula no mês de junho para uma ventilação de 2 renovações horárias

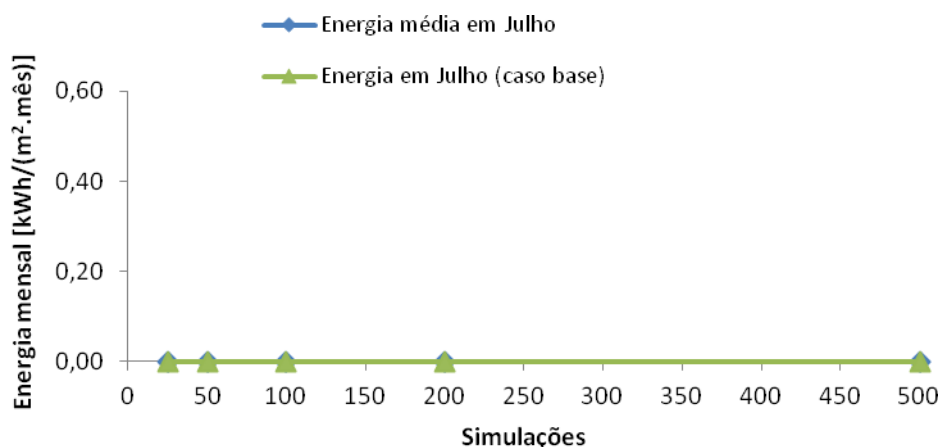


Figura B-27: Energia média nas salas de aula no mês de julho para uma ventilação de 2 renovações horárias

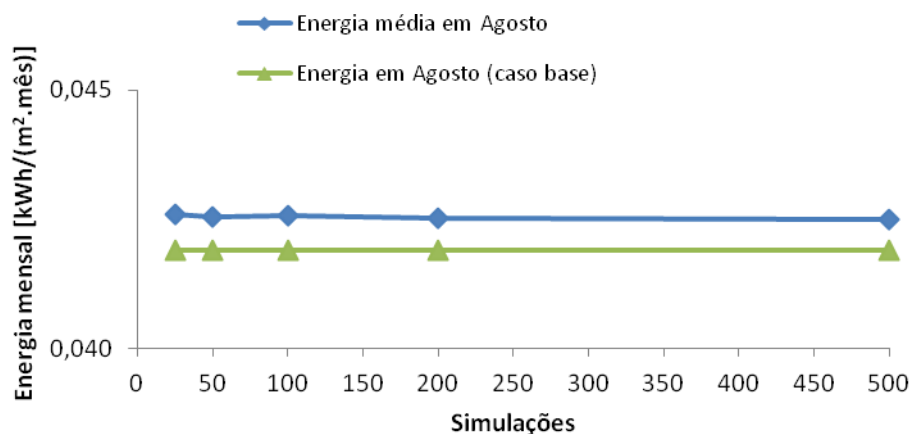


Figura B-28: Energia média nas salas de aula no mês de agosto para uma ventilação de 2 renovações horárias

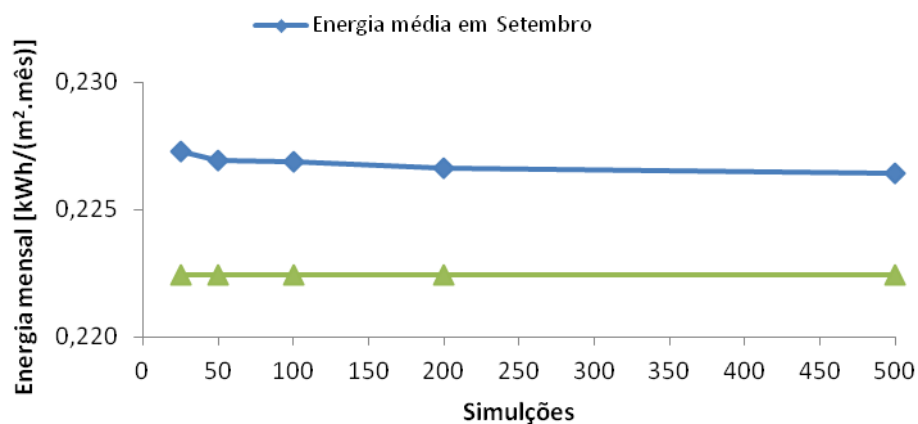


Figura B-29: Energia média nas salas de aula no mês de setembro para uma ventilação de 2 renovações horárias

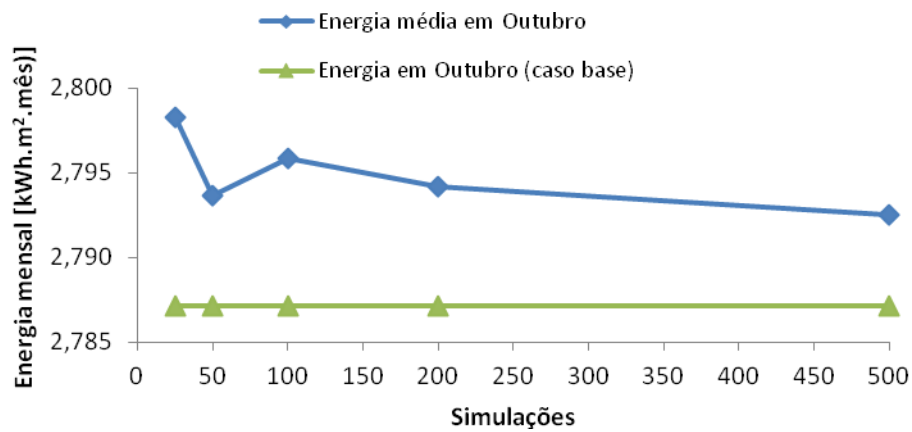


Figura B-30: Energia média nas salas de aula no mês de outubro para uma ventilação de 2 renovações horárias

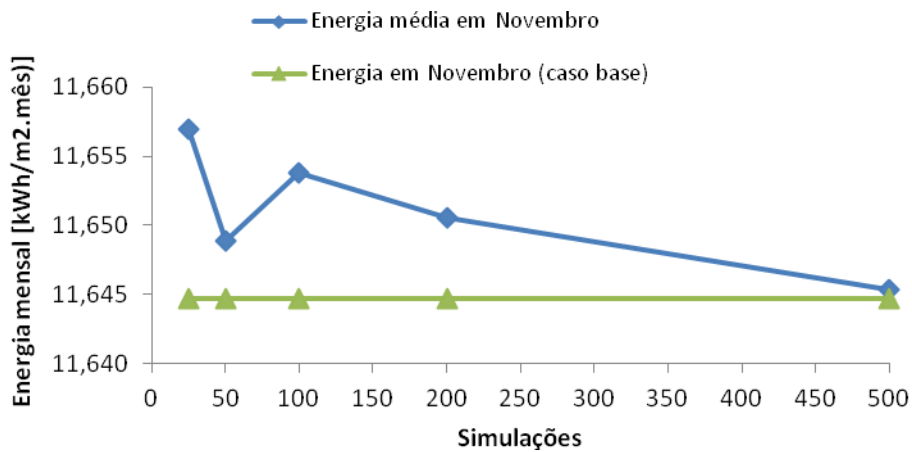


Figura B-31: Energia média nas salas de aula no mês de novembro para uma ventilação de 2 renovações horárias

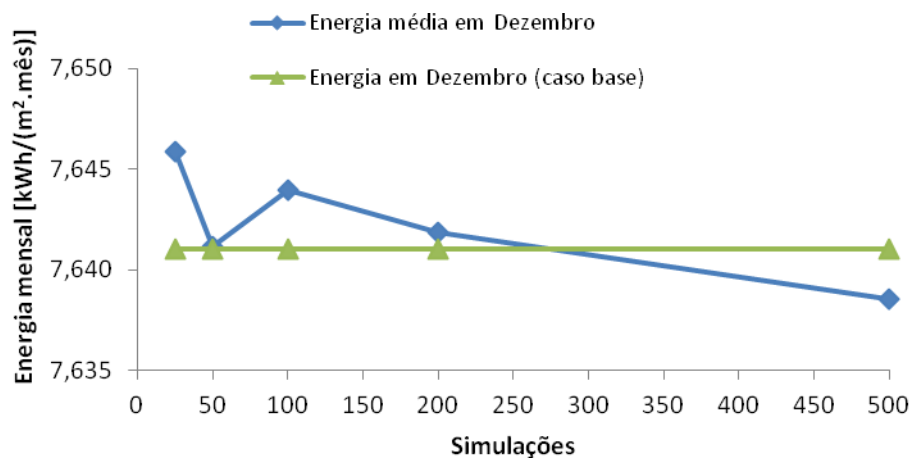


Figura B-32: Energia média nas salas de aula no mês de dezembro para uma ventilação de 2 renovações horárias

Resultados das simulações da energia anual para uma ventilação de 2 renovações horárias

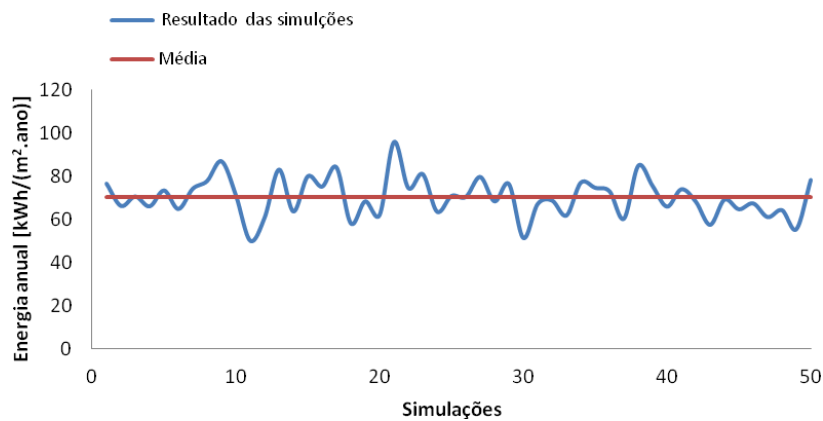


Figura B-33: Energia anual das salas de aula para o caso de 50 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias

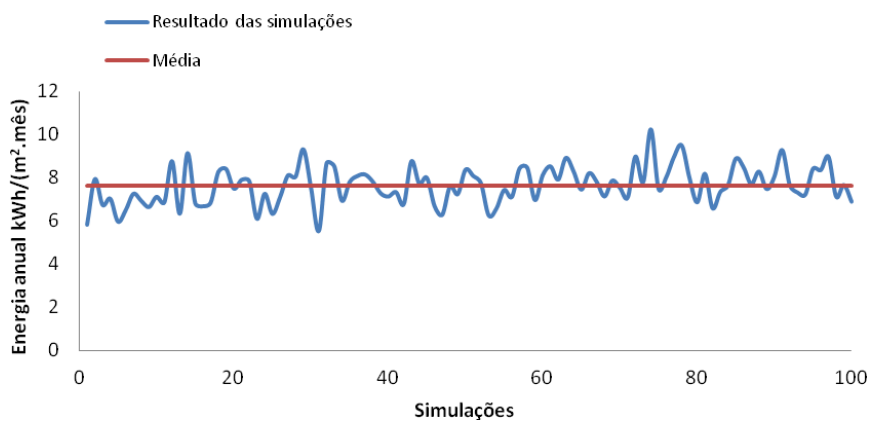


Figura B-34: Energia anual das salas de aula para o caso de 100 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias

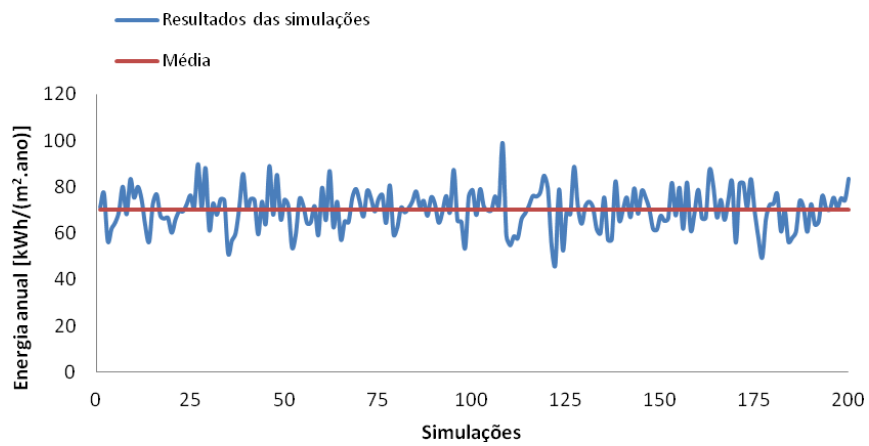


Figura B-35: Energia anual das salas de aula para o caso de 200 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias

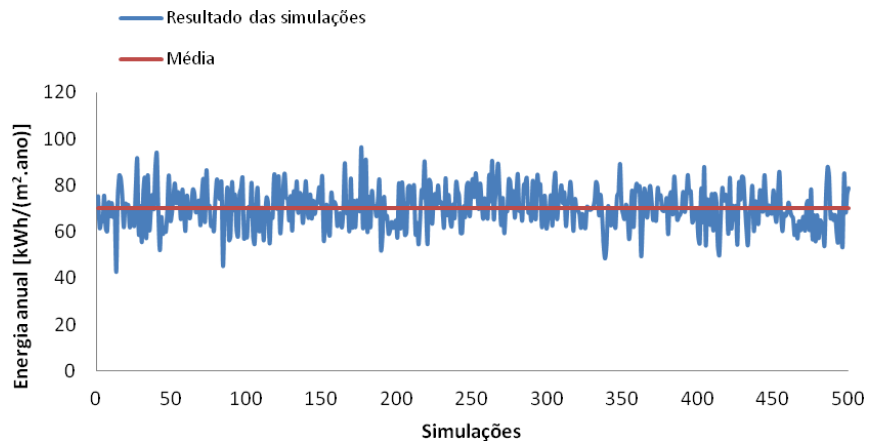


Figura B-36: Energia anual das salas de aula para o caso de 500 simulações com uma ventilação de 2 renovações horárias

Resultados das simulações da energia anual para uma ventilação de 4 renovações horárias

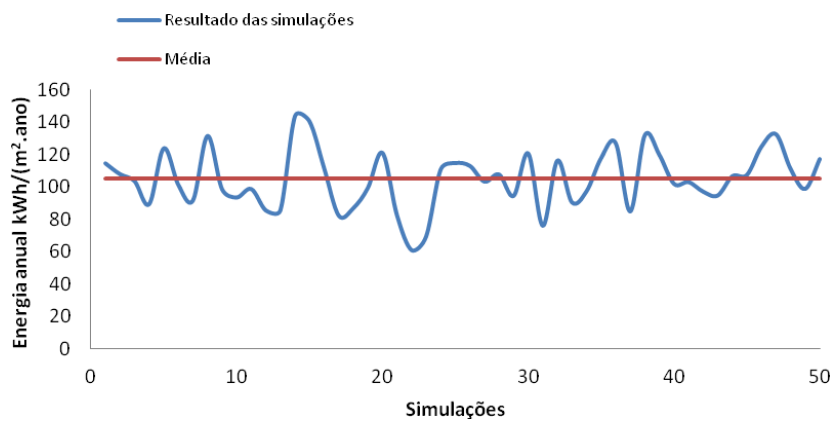


Figura B-37: Energia anual das salas de aula para o caso de 50 simulações com uma ventilação de 4 renovações horárias

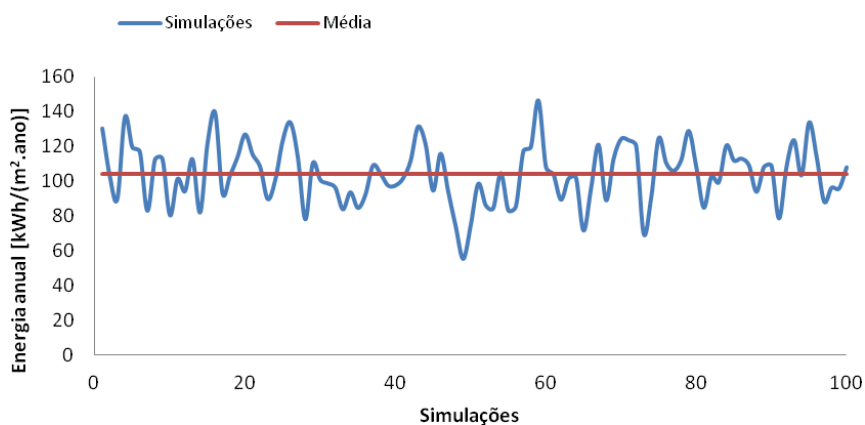


Figura B-38: Energia anual das salas de aula para o caso de 100 simulações com uma ventilação de 4 renovações horárias

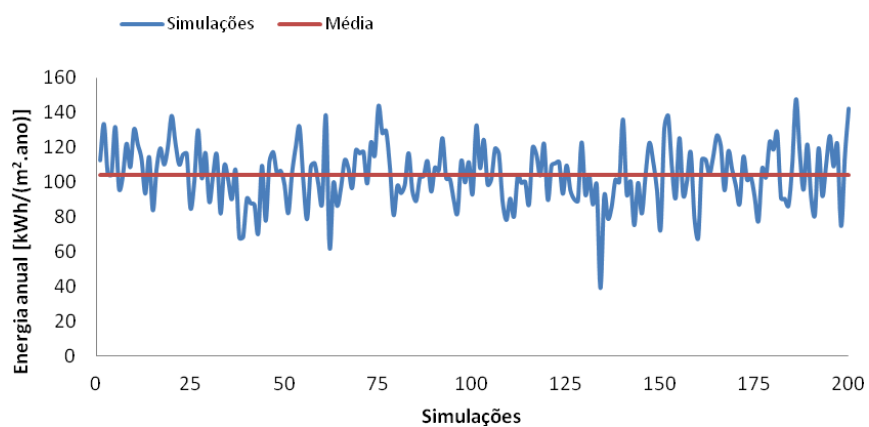


Figura B-39: Energia anual das salas de aula para o caso de 200 simulações com uma ventilação de 4 renovações horárias

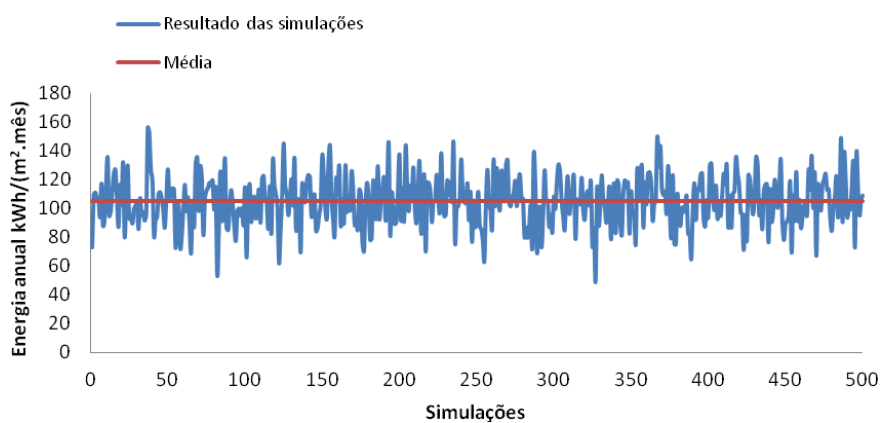


Figura B-40: Energia anual das salas de aula para o caso de 200 simulações com uma ventilação de 4 renovações horárias

Histogramas anuais e box-plots do caso das 25 simulações para uma ventilação de 2 renovações horárias

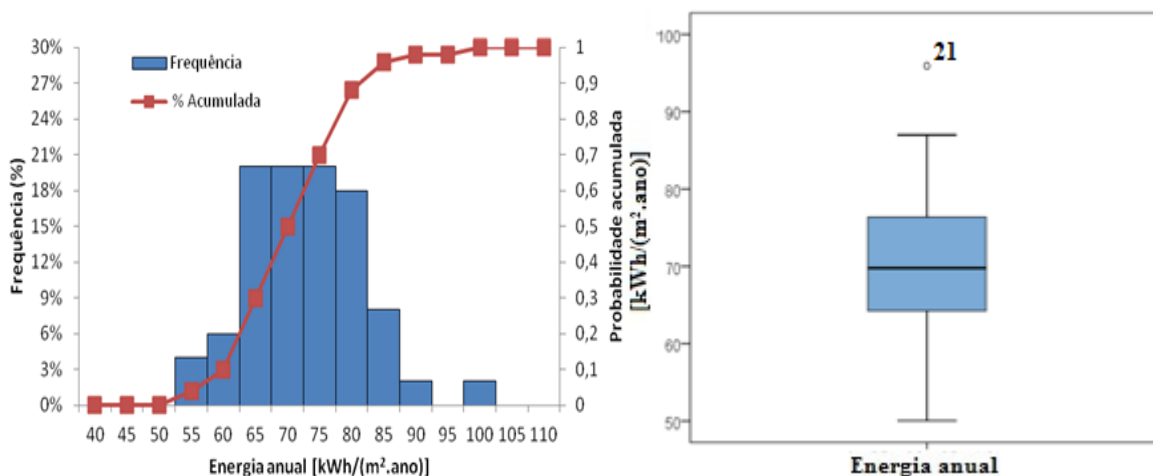


Figura B-41: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de maio das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias 50

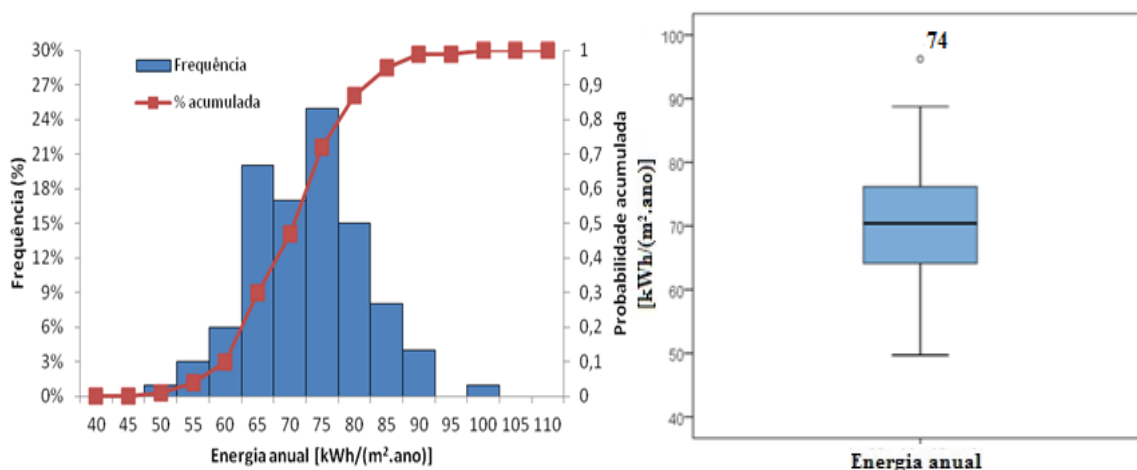


Figura B-42: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de maio das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias 100

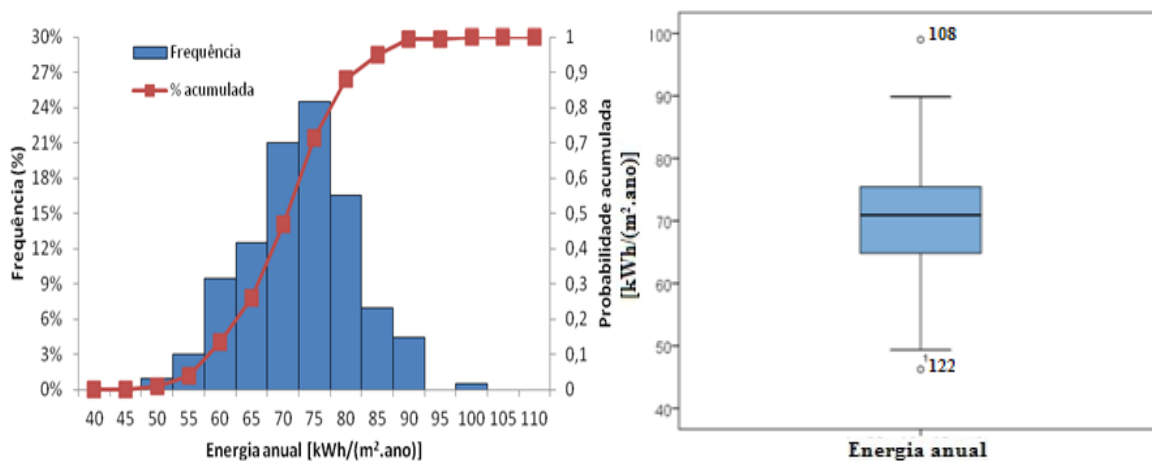


Figura B-43: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de maio das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias 200

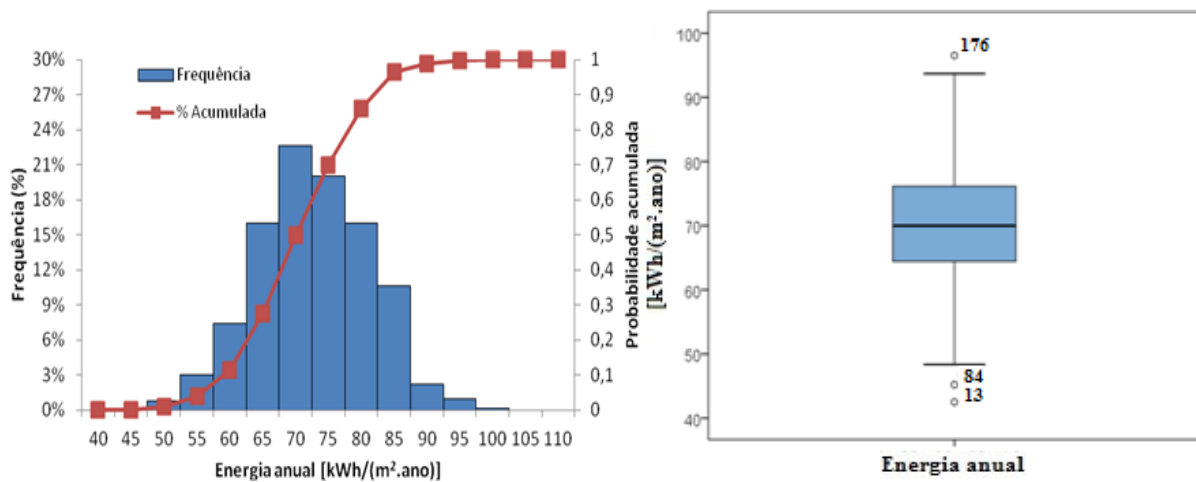


Figura B-44: Histograma, distribuição de probabilidade acumulada e box-plot da energia de maio das salas de aula para uma ventilação de 2 renovações horárias 500