

POTENCIAL DE SISTEMA DE DUTOS ENTERRADOS NO CONDICIONAMENTO TÉRMICO DE UM EDIFÍCIO DE LABORATÓRIOS

Victor F. Roriz (1); Maurício Roriz (2)

(1) Doutor, Professor do Departamento de Arquitetura, victor@roriz.eng.br
Faculdades Integradas Dom Pedro II, Núcleo de Pesquisa e Iniciação Científica,
São José do Rio Preto - SP, 15015-700, Tel.: (17) 2139-1600

(2) Doutor, Professor do Departamento de Engenharia Civil, UFSCar, m.roriz@terra.com.br

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre uso de um sistema de dutos enterrados, utilizado como trocador de calor entre o ar ambiente e o solo, projetado para auxiliar no condicionamento térmico de um edifício de laboratórios, a ser construído na cidade de Porto Alegre (RS). Os resultados indicam que tal sistema tem potencial para contribuir com o conforto ambiental e a racionalização do consumo energético da edificação.

Palavras-chave: Sistema Geotérmico, Dutos Enterrados. Desempenho Térmico de Edificação.

ABSTRACT

This paper presents a study using computer simulation of a buried pipes network, used as heat exchanger between the ambient air and the ground. This system was designed to assist in conditioning a building of laboratories to be built in Porto Alegre (RS). The results indicate that this system could contribute to environmental comfort and rationalization of energy consumption.

Keywords: Geothermal system. Buried pipes.

1. INTRODUÇÃO

Entre as técnicas passivas de condicionamento de uma edificação o uso da inércia do solo como atenuante para as variações climáticas é das mais antigas. Atualmente existem métodos bastante interessantes de utilizar as estas propriedades térmicas na aclimação de ambientes.

1.1. O SISTEMA GEOTÉRMICO DE DUTOS ENTERRADOS

O sistema geotérmico objeto do presente estudo consiste de uma rede de dutos enterrados, por onde se faz circular o ar exterior antes que o mesmo seja utilizado para ventilar os ambientes internos de edificações. O objetivo de tal sistema é otimizar os níveis de conforto térmico proporcionados aos usuários do edifício e, ao mesmo tempo, reduzir o consumo da energia que seria empregada para climatizar os ambientes. Assim como ocorre com outros sistemas geotérmicos, o funcionamento dos dutos enterrados se baseia na Inércia Térmica do solo, uma propriedade física que provoca dois importantes efeitos, o amortecimento e a defasagem (também denominada “atraso térmico”) das oscilações diárias e sazonais das temperaturas do ar. A Figura 1 ilustra o fenômeno.

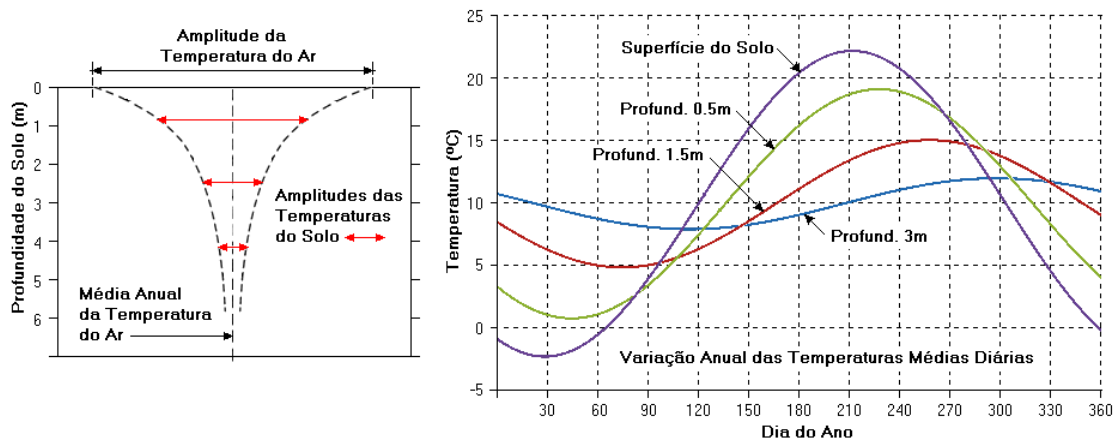


Figura 1: Efeitos que a Inércia do Solo exerce sobre suas temperaturas a diferentes profundidades

1.2. O CLIMA LOCAL

A cidade de Porto Alegre, com altitude média de 3m, situa-se à latitude de 30.03° Sul e à longitude de 51.22° Oeste. Conforme o zoneamento definido pela ABNT NBR 15220-3 (2005), o clima local classifica-se na Zona Bioclimática 3 (Figura 2).

Os dados de clima adotados no presente estudo foram obtidos junto ao National Climatic Data Center (NOAA, 2011) e correspondem ao ano climático típico da cidade (Figura 3), estabelecido com base em valores registrados ao longo de um período de 20 anos. O arquivo engloba 8760 valores horários (1 ano) de 35 variáveis climáticas, que incluem temperaturas e umidades do ar, direção e velocidade do vento, irradiância solar direta e difusa, nebulosidade, pluviosidade, etc.

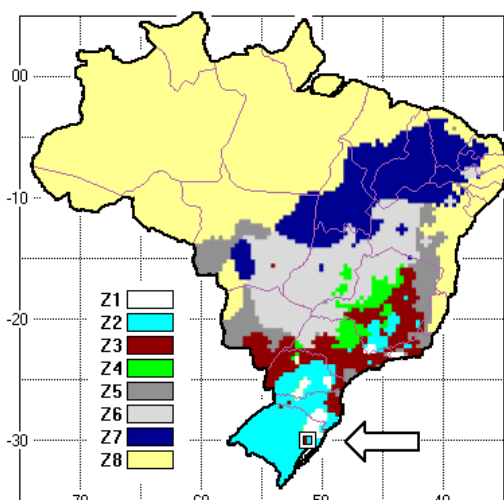


Figura 2: Porto Alegre no Zoneamento Bioclimático do Brasil (ABNT NBR 15220-3)

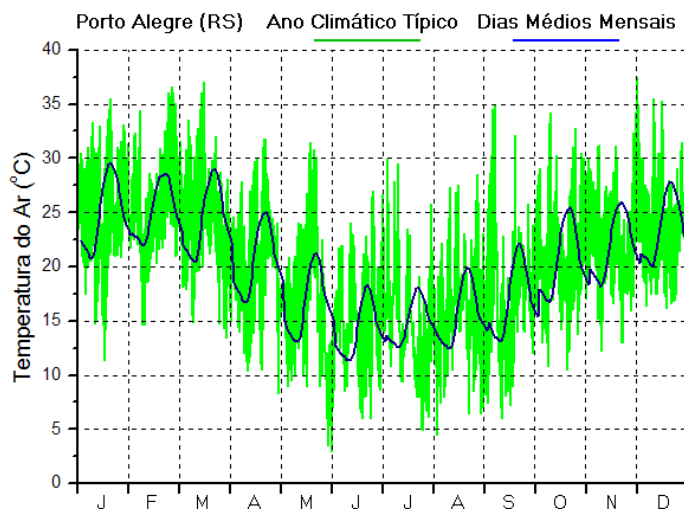


Figura 3: Variação da Temperatura do Ar ao longo do ano na cidade de Porto Alegre, RS (Fonte dos dados: NOAA, 2011)

Dentre os climas das 27 capitais brasileiras, o de Porto Alegre é o que apresenta a mais alta Amplitude Térmica Anual (Tabela 1), sendo, portanto, o mais favorável à utilização dos sistemas geotérmicos.

Tabela 1: Amplitudes Térmicas Anuais das Capitais Brasileiras (INMET, 1992)

Capital	Tmin (1)	Tmax (2)	Amplitude Anual = Tmax-Tmin
Aracaju (SE)	21.6	29.8	8.2
Salvador (BA)	21.3	30.0	8.7
Fortaleza (CE)	21.8	30.7	8.9
São Luiz (MA)	22.3	31.4	9.1
Recife (PE)	20.6	30.2	9.6
Macapá (AP)	22.9	32.6	9.7
Natal (RN)	20.3	30.3	10.0
Maceió (AL)	20.2	30.4	10.2
Manaus (AM)	22.7	32.9	10.2
Belém (PA)	21.6	32.3	10.7
Rio de Janeiro (RJ)	18.4	30.2	11.8
Vitória (ES)	18.8	31.6	12.8
João Pessoa (PB)	18.9	31.8	12.9
Rio Branco (AC)	18.5	32.8	14.3
Porto Velho (RO)	18.3	32.9	14.6
Florianópolis (SC)	13.3	28.4	15.1
Brasília (DF)	12.9	28.3	15.4
Belo Horizonte (MG)	13.1	28.8	15.7
Teresina (PI)	20.4	36.4	16.0
São Paulo (SP)	11.7	28.0	16.3
Campo Grande (MS)	14.0	30.6	16.6
Cuiabá (MT)	16.6	34.1	17.5
Palmas (TO)	18.0	35.6	17.6
Curitiba (PR)	7.8	25.8	18.0
Goiânia (GO)	13.2	31.9	18.7
Porto Alegre (RS)	10.7	30.2	19.5

(1) Menor Temperatura Média das Mínimas Mensais

(2) Maior Temperatura Média das Máximas Mensais

1.3. TIPO DE SOLO E SUAS TEMPERATURAS A DIFERENTES PROFUNDIDADES

A Carta de Unidades Geotécnicas de Porto Alegre (BASTOS e DIAS, 1995) indica que o solo da região urbana onde se localiza o Campus da PUC-RS é do tipo Argilossolo Vermelho-Amarelo (antigamente denominados Podzólico Vermelho-Amarelo). Em pesquisa desenvolvida no município de Viamão, situado a apenas 20 km da cidade de Porto Alegre, este mesmo tipo de solo foi estudado por Vaz (2011) e caracterizado com as seguintes propriedades:

- a) Densidade média aparente = 1800 kg/m³
- b) Teor médio de umidade natural = 25%
- c) Condutividade Térmica = 2.1 W/(m.K)
- d) Difusividade Térmica = 0.057 m²/dia (6.597 x 10⁻⁷ m²/s)
- e) Capacidade Térmica = 3200 kJ/(m³.K) → Calor Específico = 1.77 kJ/(kg.K)

A Figura 4 indica as médias mensais das temperaturas do ar e do solo, conforme registradas por Vaz (2011) durante monitoramento realizado em Viamão ao longo do ano de 2007.

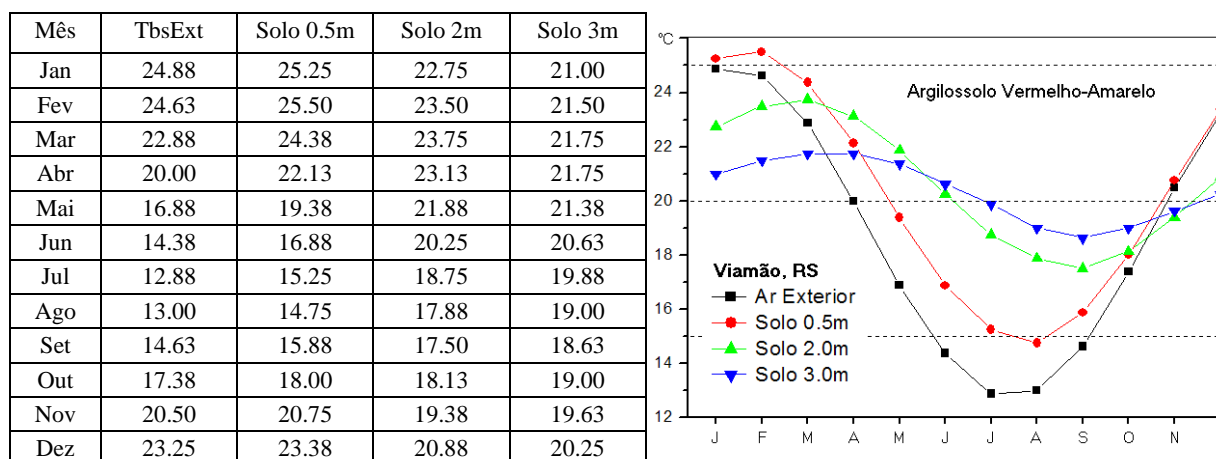


Figura 4: Viamão, RS - Médias Mensais de Temperaturas registradas durante o ano de 2007 (adaptado de VAZ, 2011)

Conforme se observa na tabela e no gráfico da Figura 4, a inércia térmica do solo provoca dois efeitos sobre as temperaturas que o solo apresenta a diferentes profundidades. Um desses efeitos é denominado Atraso Térmico e indica as defasagens que a inércia estabelece nas curvas de variação das temperaturas do solo e que são diretamente proporcionais às profundidades. As temperaturas mínimas do ar exterior, por exemplo, ocorrem em Julho, enquanto as do solo acontecem com atraso de 1 mês para a profundidade de 0.5m, ou de 2 meses, nas profundidades de 2m e 3m. O outro efeito, Amortecimento Térmico, resulta na redução das Amplitudes Térmicas (diferenças entre temperaturas máximas e mínimas). No caso indicado na Figura 4, a Amplitude anual da Temperatura do Ar é de 12.00 oC, e cai progressivamente para 10.75, 6.25 e 3.12 oC nas profundidades de 0.5m, 2.0m e 3.0m, respectivamente. Estes efeitos são quantificáveis, por meio de fatores que relacionam as temperaturas do solo com a temperatura do ar e que podem ser aplicados a outros lugares, que tenham o mesmo solo e clima semelhante. Apresenta-se, a seguir, um método de cálculo de tais fatores.

A) Variação anual das médias mensais de Temperatura do Ar (TbsExt)

A1. Identificação das maiores (MaxMed) e menores (MinMed) médias mensais da TbsExt e da diferença entre elas (AmpMed). No caso do exemplo de Viamão, estes parâmetros seriam:

$$\text{MaxMed} = 24.88 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (janeiro)}$$

$$\text{MinMed} = 12.88 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (julho)}$$

$$\text{AmpMed} = 12.00 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

A2. Cálculo do fator de variação de TbsExt para cada mês do ano (FtExt_m, sendo o mês indicado por “m”):

$$\text{FtExt}_m = (\text{Tbs}_m - \text{MinMed}_m) / \text{AmpMed}_m$$

Para o mês de abril, por exemplo, seria:

$$\text{FtExt}_4 = (20 - 12.88) / 12 = 0.593$$

B) Cálculo do fator de variação das temperaturas do solo a cada profundidade (FtNm, onde “N” indica a profundidade). Sendo TNm a temperatura do solo a “N” metros de profundidade, o fator seria dado por:

$$\text{Ft0.5m} = (\text{T0.5m} - \text{MinMed}_m) / \text{AmpMed}_m$$

Para o mesmo mês de abril, por exemplo, seria:

$$\text{Ft0.5m} = (22.13 - 12.88) / 12 = 0.771$$

A Tabela 2 apresenta os fatores resultantes das temperaturas observadas em Viamão:

Tabela 2: Fatores de Ajuste das Curvas de Temperaturas do Solo, como função do tipo de solo e da variação da Temperatura do ar.

Mês	FtExt	Ft0.5m	Ft2m	Ft3m
Jan	1.000	1.031	0.823	0.677
Fev	0.979	1.052	0.885	0.718
Mar	0.833	0.958	0.906	0.739
Abr	0.593	0.771	0.854	0.739
Mai	0.333	0.542	0.750	0.708
Jun	0.125	0.333	0.614	0.646
Jul	0.000	0.198	0.489	0.583
Ago	0.010	0.156	0.417	0.510
Set	0.146	0.250	0.385	0.479
Out	0.375	0.427	0.438	0.510
Nov	0.635	0.656	0.542	0.563
Dez	0.864	0.875	0.667	0.614

A aplicação desse procedimento sobre as médias mensais de Temperatura do Ar da cidade de Porto Alegre, permite obter-se as temperaturas que ocorreriam nesse clima e a diferentes profundidades do mesmo tipo de solo (Argilossolo Vermelho-Amarelo). Com este objetivo, com base no arquivo do ano climático

típico de Porto Alegre (NOAA 2011), primeiramente foram calculadas as médias mensais das Temperaturas do Ar. Em seguida, por meio da aplicação dos fatores de ajuste (Tabela 2), estimadas as temperaturas do solo (Figura 5).

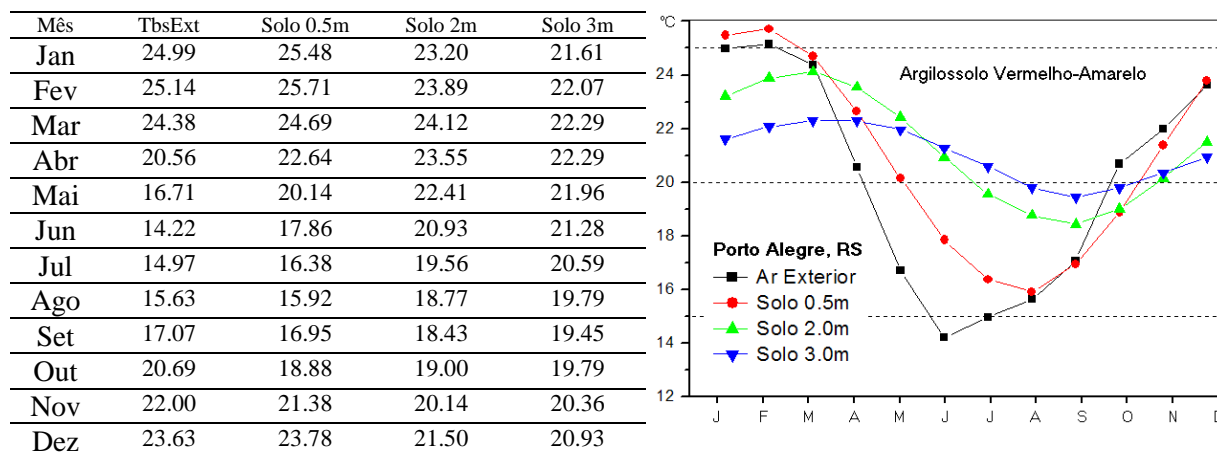


Figura 5: Porto Alegre, RS - Médias mensais registradas de Temperaturas do Ar (TbsExt) e das Temperaturas do Solo, estimadas para diferentes profundidades.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar o potencial de calor trocado com o solo através de um sistema de dutos enterrados. Discute-se os princípios de funcionamento deste sistema, as variáveis de influência e método de avaliação deste potencial.

3. MÉTODO

3.1. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DO COMPORTAMENTO DO SISTEMA

A presente avaliação baseou-se em simulações no programa computacional EnergyPlus (DOE, 2012), elaborado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e consagrado internacionalmente como excelente ferramenta de análise térmica e energética de edificações. Para tais simulações, primeiramente foram providenciados os arquivos digitais nos formatos exigidos como dados de entrada do programa:

- Ano climático típico do lugar: dados das 8760 horas anuais das variáveis do clima local (NOAA, 2011).
- Identificação das propriedades térmicas e das temperaturas do solo a diferentes profundidades.
- Identificação das dimensões e propriedades térmicas dos tipos de dutos a serem considerados.
- Modelagem digital da arquitetura e detalhamento dos sistemas construtivos adotados no projeto da edificação.
- Quantificação das fontes internas de calor (pessoas, lâmpadas, equipamentos, etc.) e respectivos horários em que ocorrem.

Para proporcionar uma visão de conjunto sobre a importância e o impacto de cada uma das variáveis que interferem no comportamento do sistema geotérmico avaliado, foram realizadas dezenas de simulações, cujos resultados permitem uma análise das relações entre seguintes parâmetros:

- Profundidade a ser adotada para instalação dos dutos.
- Teor de umidade do solo e condição de sua superfície: solo nu ou coberto.
- Material de confecção dos dutos. Foram consideradas duas hipóteses:
- Plástico (Awadukt: tipo específico para sistema geotérmico) e Concreto.
- Quantidade de dutos, em função de seus respectivos diâmetros e comprimentos.
- Velocidades do ar (m/s) no interior dos dutos e respectivas vazões (m³/s) para cada diâmetro.

Observação: Em todas as simulações, para cada zona térmica do edifício, foi considerada uma taxa de infiltração (frestas de portas e janelas) de 1 renovação por hora.

3.2. O edifício simulado

O edifício em questão terá 7 pavimentos, sendo os 4 primeiros destinados a laboratórios de física, geologia e química e os 3 últimos destinados a salas de trabalho de pesquisadores e áreas administrativas. Processos desenvolvidos nos laboratórios exigem um nível de controle das temperaturas e umidades do ar, somente possível por meio de sistemas eletromecânicos. Um corte esquemático do edifício é apresentado na Figura 6.

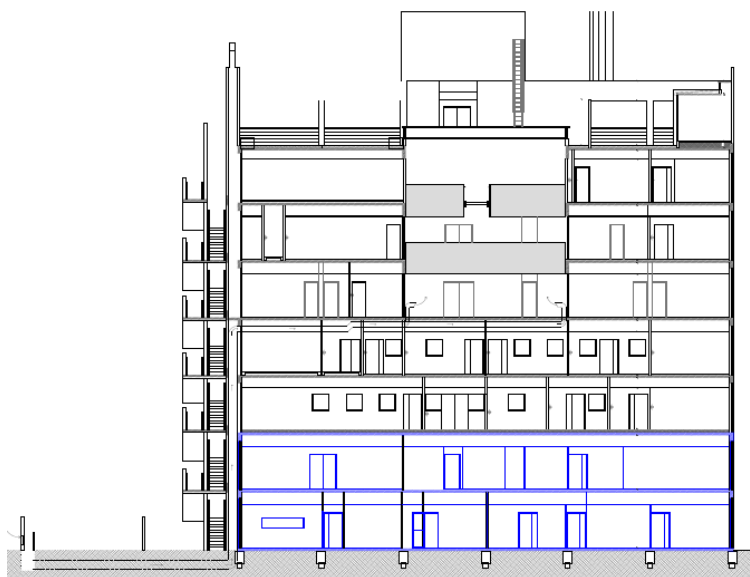
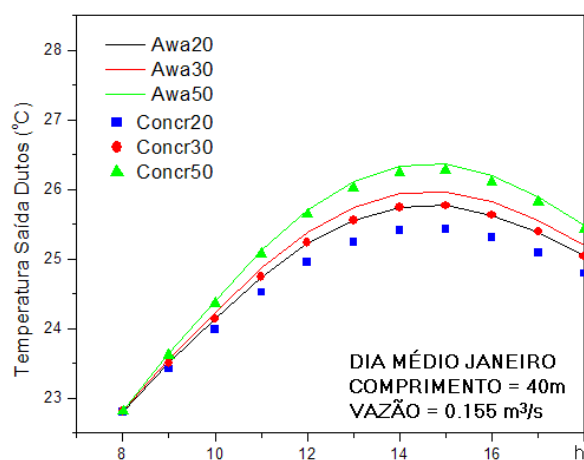


Figura 6: Corte esquemático do edifício

4. RESULTADOS OBTIDOS

Os tópicos 4.1 a 4.4.2 apresentam as correlações obtidas através da bateria de simulações realizada. Em sua sequência uma breve discussão destes resultados é apresentado.

4.1. Influências do Material, Diâmetro e Vazão



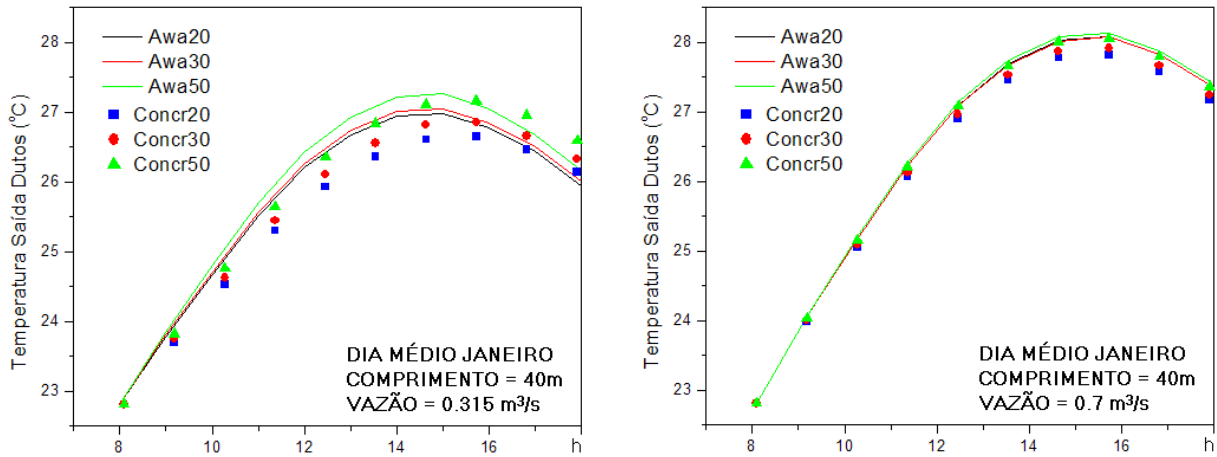


Figura 7: Temperaturas na saída dos dutos: Influências do material, diâmetro e vazão, Dutos com 40m de comprimento.

A Figura 7 apresenta resultados de algumas simulações, considerando duto de 40m de comprimento e os horários de ocupação do edifício durante o dia médio de janeiro, mês mais quente do ano típico. Os gráficos possibilitam algumas análises sobre os efeitos que material, diâmetro e vazão exercem sobre as temperaturas do ar na saída do duto:

- Vazões mais baixas (menores velocidades do ar) permitem que o ar permaneça por mais tempo no interior do duto, incrementando as taxas de trocas de calor entre este e o solo. Assim, o ar é fornecido aos ambientes internos a temperaturas mais favoráveis ao conforto e à redução no consumo de energia.
- Maiores diâmetros reduzem as taxas de trocas de calor entre o ar e o solo, pois parcela mais significativa do ar circula próxima ao centro do duto e não se beneficia daquelas trocas. Para a vazão mais baixa ($0.155 \text{ m}^3/\text{s}$), por exemplo, no período mais quente do dia, entre 14 e 15 horas, o ar fornecido pelo duto de concreto com diâmetro de 20cm tem temperatura cerca de 1.0°C mais baixa que a correspondente ao duto de plástico com diâmetro de 50cm.
- Para diâmetros iguais, os dutos de concreto apresentam eficiência mais alta que os de plástico, sendo este fato resultante da diferença entre as condutividades térmicas dos dois materiais: $1.75 \text{ W}/(\text{m.K})$ para o concreto, contra apenas $0.3 \text{ W}/(\text{m.K})$ para o plástico.
- A vazão mais alta reduz o tempo de contato entre ar e solo, tornando as temperaturas de saída mais próximas da do ar exterior e anulando as diferenças entre os comportamento dos diferentes dutos.

4.2. Influências da Profundidade de Instalação dos Dutos

As Figuras 8 a 11 se referem a Dutos de Concreto, com vazão de $0.315 \text{ m}^3/\text{s}$, diferentes comprimentos, instalados em solo nu e submetidos ao clima típico do mês de janeiro, entre 8 e 18 horas.

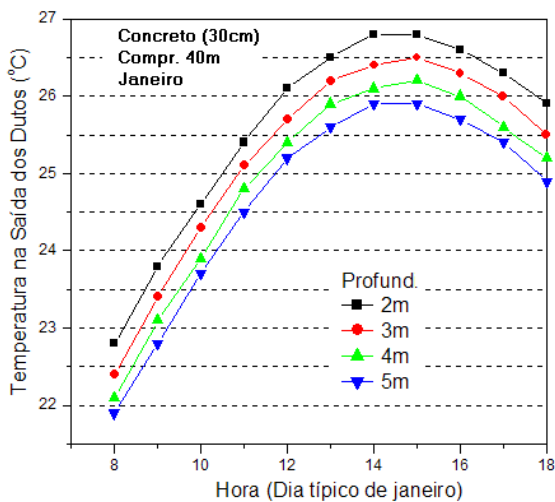


Figura 8: Temperatura do ar na saída dos dutos

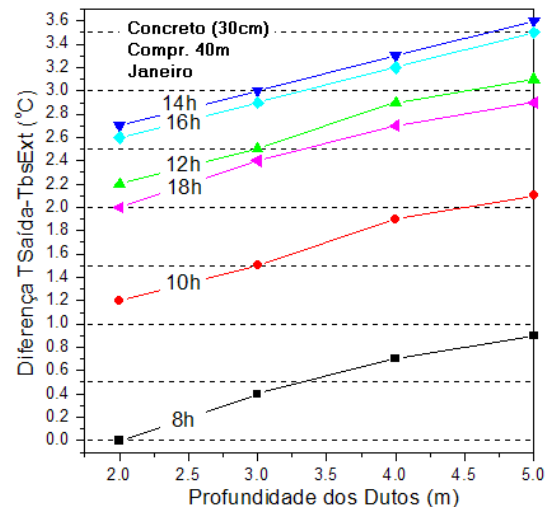


Figura 9: Queda na temperatura do ar ao longo do duto

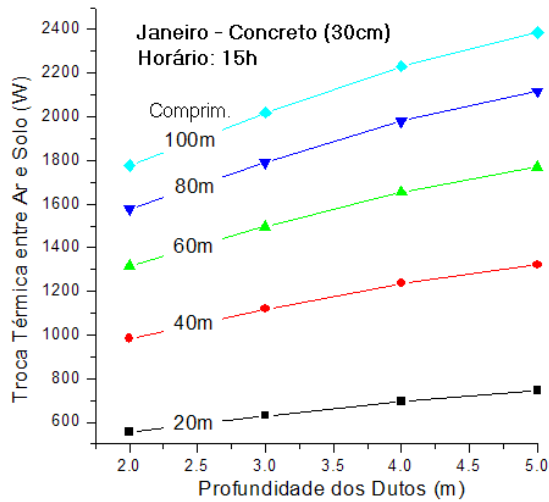


Figura 10: Fluxos de calor entre o ar e o solo

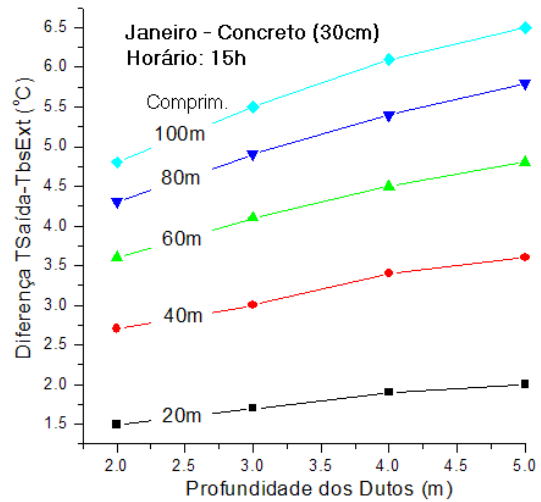


Figura 11: Queda na temperatura do ar ao longo do duto

4.3. Automação do Controle do sistema Geotérmico.

A Figura 12 apresenta exemplos de situações de inverno em que o ar tomado diretamente do exterior tem temperatura mais favorável ao conforto do que o ar obtido na saída dos dutos, exigindo automação do sistema eletromecânico de controle térmico.

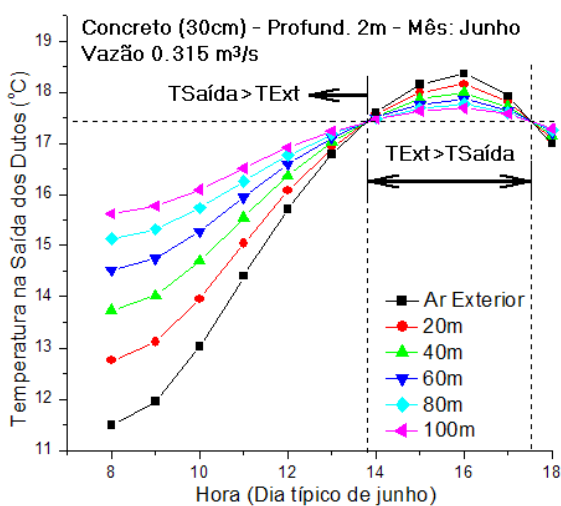
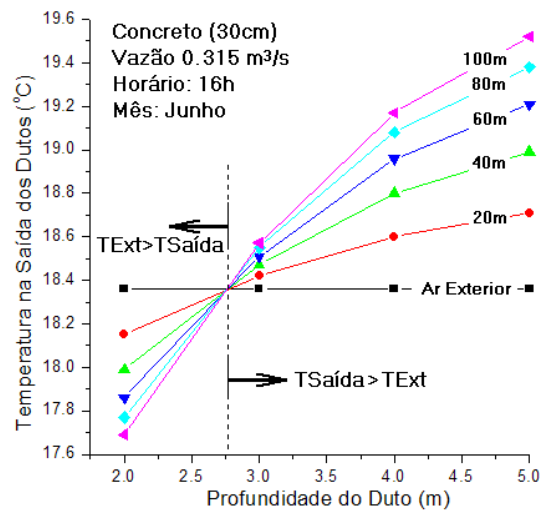


Figura 12: Situações que podem ocorrer durante o inverno



4.4. POTENCIAL DE DESEMPENHO DOS DUTOS ENTERRADOS

Apresenta-se, a seguir, resultados de simulações que indicam os potenciais benefícios que a ventilação através dos dutos pode proporcionar ao sistema de climatização do edifício. Com tal objetivo, primeiramente foi simulada situação sem os dutos, ou seja, com o equipamento condicionador sendo abastecido diretamente com o ar exterior, tomado em suas condições térmicas naturais. Algumas das vazões consideradas nessas simulações são pouco realistas (muito altas), mas foi necessário adotá-las para efeito de comparações, por serem as mesmas que corresponderiam a sistemas geotérmicos compostos por diferentes quantidades, diâmetros e comprimentos de dutos.

4.4.1. Período de Verão

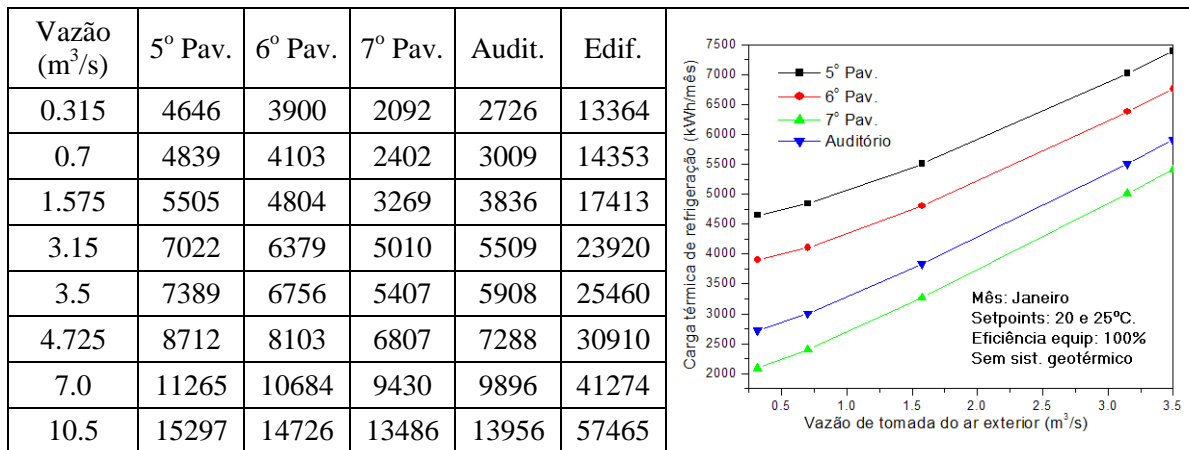


Figura 13: Janeiro - Cargas térmicas de refrigeração (kWh/mês) para diferentes vazões de ar, necessárias para manter as temperaturas internas entre 20 e 25 °C, supondo um equipamento condicionador “ideal” (eficiência de 100%) e edificação sem o sistema geotérmico

Tabela 3: Janeiro - Benefícios potenciais do sistema geotérmico de Dutos de Concreto, em relação ao edifício que não disponha do mesmo e considerando-se as condições climáticas típicas do verão.

Características do Sistema Geotérmico (Profundidade dutos = 2m)						Redução proporcionada na carga térmica de refrigeração (%)				
vazão em cada duto	quant. de dutos	vazão total (m ³ /s)	comprim. dutos (m)	diâmetro (cm)	velocid. (m/s)	5° Pav.	6° Pav.	7° Pav.	Audit.	Edif.
0.7	1	0.7	40	50	3.57	5.5	6.6	12.6	8.9	7.7
	5	3.5				21.3	23.7	31.6	27.1	25.5
	10	7				29.8	31.5	36.7	33.8	32.8
	15	10.5				33.7	34.9	38.5	36.5	35.8
0.7	1	0.7	40	30	9.90	6	7.2	13.7	9.7	8.4
	5	3.5				23	25.6	34	29.3	27.5
	10	7				32.1	33.9	39.3	36.4	35.2
	15	10.5				36.2	37.4	41.3	39.3	38.5
0.7	1	0.7	80	50	3.57	9.9	11.8	21.4	16.1	13.7
	5	3.5				35.6	39.3	50.8	45	42
	10	7				48.4	51	58.4	54.9	52.9
	15	10.5				54.1	55.9	61.2	58.8	57.3
0.315	1	0.315	40	50	1.60	4.1	4.8	9.8	7	5.8
	5	1.575				18.5	21.4	33.7	26.9	24
	10	3.15				30.3	33.8	45.1	39.1	36.4
	15	4.725				37.8	40.9	50	45.4	43.1
	11.1	3.5				32.3	35.8	46.5	40.9	38.2
0.315	1	0.315	40	20	10.03	5	5.9	11.9	8.6	7.1
	5	1.575				22.4	25.9	40.2	32.4	28.9
	10	3.15				36.4	40.5	53.4	46.8	43.5
	15	4.725				45.2	48.7	59.1	54.1	51.3
	11.1	3.5				38.8	42.8	55.1	49.1	45.7
0.315	1	0.315	40	30	4.46	4.6	5.5	11.1	8	6.6
	5	1.575				20.8	24.1	37.6	30.3	27
	10	3.15				34	37.9	50.1	43.8	40.7
	15	4.725				42.3	45.6	55.5	50.7	48
	11.1	3.5				36.2	40	51.7	45.8	42.7

4.4.2. Período de Inverno

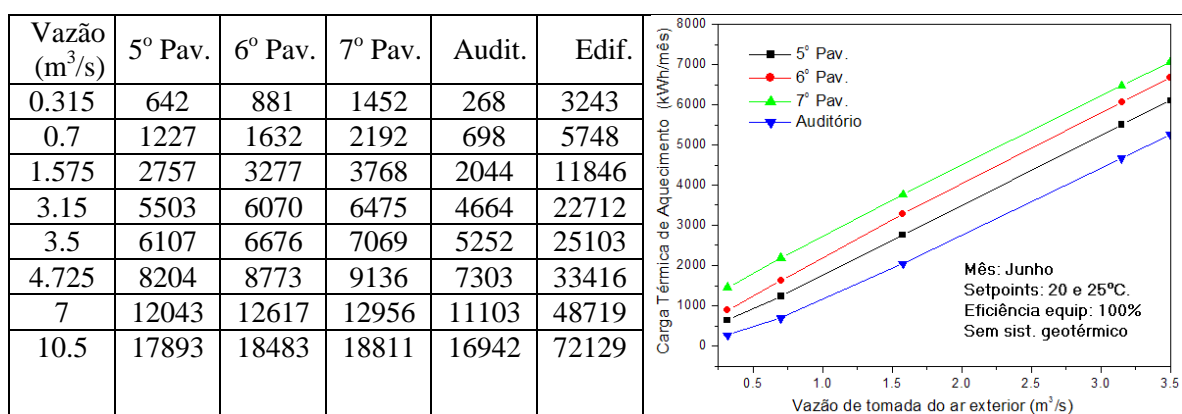


Figura 14: Junho - Cargas térmicas de aquecimento (kWh/mês) para diferentes vazões de ar, necessárias para manter as temperaturas internas entre 20 e 25 °C, supondo um equipamento condicionador “ideal” (eficiência de 100%) e edificação sem o sistema geotérmico do

Tabela 4: Junho - Benefícios potenciais do sistema geotérmico de Dutos de Concreto, em relação ao edifício que não disponha do mesmo e considerando-se as condições climáticas típicas do inverno.

Características do Sistema Geotérmico (Profundidade dutos = 2m)						Redução proporcionada na carga térmica de aquecimento (%)				
vazão em cada duto	quant. de dutos	vazão total (m ³ /s)	comprim. dutos (m)	diâmetro (cm)	velocid. (m/s)	5º Pav.	6º Pav.	7º Pav.	Audit.	Edif.
0.7	1	0.7	40	50	3.57	30	28	14	35	24
	5	3.5			3.57	25	23	15	26	22
	10	7			3.57	21	19	16	21	19
	15	10.5			3.57	19	18	16	19	18
0.7	1	0.7	40	30	9.90	31	29	14	36	24
	5	3.5			9.90	26	23	16	27	23
	10	7			9.90	22	20	16	22	20
	15	10.5			9.90	20	19	16	20	19
0.7	1	0.7	80	50	3.57	38	36	19	44	30
	5	3.5			3.57	33	30	21	34	29
	10	7			3.57	28	26	21	27	26
	15	10.5			3.57	26	24	21	25	24
0.315	1	0.315	40	50	1.60	30	29	14	33	23
	5	1.575			1.60	35	32	19	37	29
	10	3.15			1.60	32	29	20	33	28
	11	3.5			1.60	31	28	20	32	27
	15	4.725			1.60	29	26	20	29	26
0.315	1	0.315	40	20	10.03	32	31	16	36	25
	5	1.575			10.03	39	36	21	41	33
	10	3.15			10.03	36	32	22	36	31
	15	4.725			10.03	33	30	22	32	29
	11	3.5			10.03	35	32	22	35	31
0.315	1	0.315	40	30	4.46	31	30	15	35	24
	5	1.575			4.46	38	34	20	39	32
	10	3.15			4.46	34	31	21	35	30
	11	3.5			4.46	34	30	21	34	29
	15	4.725			4.46	32	28	21	31	28

5. CONCLUSÃO

Apesar de se saber que existem registros de diversas variáveis de grande importância para a correta análise e simulação do comportamento térmico de edifícios, ainda há grande dificuldade em se obter dados de Temperatura do solo, e pouco se conhece sobre o assunto no Brasil.

Os resultados das simulações indicam que, dependendo dos efeitos conjugados entre as diversas características dos dutos (material, diâmetro, comprimento, quantidade e profundidade), este sistema geotérmico oferece consideráveis possibilidades de apresentar desempenho bastante satisfatório e pode contribuir com o conforto ambiental e a racionalização do consumo energético do edifício aqui considerado. Estes resultados sugerem que o assunto seja mais pesquisado no País.

Em cada caso, no entanto, será necessário comparar custos, tanto de manutenção quanto instalação na busca da solução mais viável.

REFERÊNCIAS

ABNT (2005). NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.

BASTOS, Augusto Burkert; DIAS, Regina Davison (1995). Unidades Geotécnicas de Solos em Porto Alegre. Revista do Instituto Geológico. Volume Especial 1995. Pgs. 85-89.

DOE (2012). EnergyPlus 7.2.0 – Energy Simulation Software. United States Department of Energy. Disponível em <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

INMET (1992). Normas Climatológicas (1961-1990). Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília.

NOAA (2011). IWEC-2 Weather Data: International Weather for Energy Calculations. National Climatic Data Center. National Oceanic and Atmospheric Administration. United States Department of Commerce.

VAZ, Joaquim (2011). Estudo experimental e numérico sobre o uso do solo como reservatório de energia para o aquecimento e resfriamento de ambientes edificados. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.