

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE COMO SÃO AVALIADOS E DETERMINADOS EM UM DATACENTERE CRIAÇÃO DE NOVO ÍNDICE DE EFICIÊNCIA EM DATACENTERS O ENERGY USAGE EFFECTIVENESS.

Me. Alexandre Fernandes Santos – paidakantsy@hotmail.com

Faculdade Profissional – FAPRO, www.fapro.com.br.

Dr. Pedro D. Gaspar - dinis@ubi.pt

Universidade da Beira Interior – UBI, www.ubi.pt

Esp. Heraldo José Lopes de Souza – heraldosouza1@gmail.com

Faculdade Profissional – FAPRO, www.fapro.com.br.

A3 – Aplicações Energéticas

Resumo: A taxa de consumo energético associado aos datacenters tem sido aumentado significativamente na última década, sendo previsto um aumento de até 53% em 2020. A eficiência energética deste tipo de recintos de alto consumo de energia é fundamental. Já existem metodologias para mensurar essa eficiência como sejam o PUE (Power Usage Effectiveness). Todavia, este índice, apesar de importante, não reflete de forma integral a eficiência. Este estudo avalia e demonstra esta condição para 02 Datacenters com PUE muito próximos. Para tal, é comparada a eficiência com um novo índice a ser criado, o EUE (Energy Usage Effectiveness). Na métrica, ao invés de considerar a potência como elemento de comparação, faz uso da energia como fator de comparação. O estudo utiliza o aproveitamento de entalpia com uma nova metodologia para obter os resultados, tendo sido obtida uma diferença entre os índices de 4,45% em relação a Manaus e 17,51% em relação a cidade de Foz de Iguaçu.

Palavras-chave: Datacenters, Consumo energético, PUE, Refrigeração de datacenters.

1. INTRODUÇÃO

Na última década, o crescimento da instalação de centros de processamento de dados, vulgo Datacenters (DC) e de servidores tem gerado um aumento significativo do consumo energético. Somente nos Estados Unidos da América (EUA), os DC fizeram uso de 91 TWh, sendo previsto um aumento de 53% (139 TWh) em 2020 (NRDC, 2014; Thibodeau, 2014). Em termos comparativos, em Portugal no ano de 2014, o consumo de energia elétrica abastecido a partir da rede pública totalizou 48,8 TWh (REN, 2015), ou seja, menos de metade do consumo dos DC nos EUA. As indústrias de equipamentos de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) continuam a aumentar a capacidade de armazenamento de dados dos equipamentos e simultaneamente a sua eficiência computacional. Na componente de suporte à operação de Datacenters, vários setores, incluindo as indústrias de tecnologias de informação (IT – *Information Technologies*), provedores de projetos de infraestruturas físicas, de projetos de layout de DC e operadores, encontram-se focados na redução da potência energética indireta de DC, ou seja, de toda a infraestrutura não computacional, especificamente da energia e dos sistemas de arrefecimento (Steinbrecher & Schmidt, 2011).

Os DC são projetados com os mais modernos conceitos tecnológicos. Assentam geralmente em cinco blocos construtivos: subestação de entrada, a sala no-break e baterias, a sala de geradores, central de ar-condicionado e salas de servidores.

As concessionárias de energia elétrica alimentam as subestações de entrada com alta tensão e providenciam a ligação com os transformadores de entrada, adequam os níveis de tensão a níveis para sua distribuição dentro das instalações dos DC.

Para garantir a estabilidade da alimentação elétrica dos sistemas, as salas de nobreak e baterias albergam os sistemas elétricos de alimentação e de contingência das salas de servidores, fornecendo energia elétrica em caso de queda do fornecimento, suprimindo a necessidade energética dos servidores instalados. As salas dos geradores são responsáveis por albergar os sistemas elétricos de comutação.

As salas dos servidores, onde são instalados todos os equipamentos de IT, necessitam de sistemas de refrigeração com controlo de humidade do ar. Nas salas de ar condicionado, os equipamentos estão eletricamente alimentados pelo sistema de entrada e sistemas de fornecimento de energia de backup (geradores). Este sistema refrigera as salas, garantindo uma temperatura do ar ambiente e sua humidade adequada aos níveis estabelecidos para as operações, sem oscilações prejudiciais ao funcionamento dos equipamentos.

O crescimento da utilização das tecnologias digitais, como a interação online de serviços e comunicação em tempo real tem aumentado os serviços computacionais. A título de exemplo, a cada minuto são trocadas 204 milhões de mensagens de e-mail, realizadas 5 milhões de procuras no Google, efetuados cerca de 1,8 milhões de “LIKES” no Facebook, pelos 2.5 mil milhões de pessoas que estão online no globo e das quais 70% usa a internet diariamente (NRDC, 2014). Estes serviços, entre outros, fizeram crescer exponencialmente a necessidade das tecnologias e com estas a ne-

cessidade de armazenar os recursos em DC. A previsão avançada por IDC (2014) indica que número de DC instalados vai continuar a aumentar atingindo 8,6 milhões (IDC, 2014) em 2020. Segundo Teixeira (2007), estes são geralmente compostos por mainframes que processam todos os recursos em uso nos sistemas computacionais. A utilização de microcomputadores flexibilizou e facilitou a evolução das redes, aumentando em muito as capacidades de processamento e juntamente multiplicou as capacidades práticas dos DC com custos menores, distribuídos e compartilhados.

Os DC são geralmente contentores ou edifícios na sua totalidade em construção concreto armado sem janelas, alojando milhares de servidores e bancos de dados em racks. A energia elétrica consumida pelos DC quadruplicou na última década nos EUA. O Brasil ocupa o décimo lugar no que toca ao consumo energético dos DC. Em 2006, o consumo de energia elétrica aumentou 1,5% (EPA, 2007) e em 2010 esse valor foi de 2,2% (Kooimey, 2011) da totalidade da energia elétrica consumida nos EUA. Prevê-se que essa taxa continue a crescer 12% ao ano até 2020 (NRDC, 2014), pois o tráfego de dados da nuvem sofrerá um aumento de 57 EB/mês em 2014 para 355 EB/mês (Cisco, 2015) em 2016 e o tráfego de dados móveis continua a aumentar, atingindo 10 EB/mês em 2016 (Cisco, 2015).

Um dos desafios relativos à melhoria do desempenho e eficiência dos DC decorre do calor dissipado pelos servidores, já que o enorme número de equipamentos instalados para aumentar a capacidade de armazenamento, aumentou em muito a potência elétrica e consequentemente a dissipação de calor. Para melhorar a dissipação de calor, alguns DC chegaram mesmo a mudar de localização, para locais onde as temperaturas médias do ar são mais baixas, como no Círculo Polar Ártico ou na Suécia, para obterem melhor eficiência energética, e consequentemente menor consumo de energia face à diminuição da necessidade de arrefecimento.

As métricas de eficiência são definidas e padronizadas para comparar a eficiência dos sistemas de um DC, como sejam os custos de operação. Foi também criado um consórcio global de fabricantes de equipamentos de IT, empresas de tecnologias, governo, instituições de ensino e I&D, associações de classes e outros setores da sociedade, onde se discutem, desenvolvem e recomendam as melhores práticas de eficiência energética e de sustentabilidade, como as emissões de CO₂. Uma dessas métricas é o PUE (*Power Usage Effectiveness*), definida pelo The Green Grid (2012) como instrumento para medir a eficiência energética de um DC. O parâmetro é a razão entre a energia total consumida por um DC e a energia fornecida aos equipamentos de IT. O valor ideal de PUE seria 1,0. Já foram relatos casos de DC com PUE = 1,02 (3M, 2015).

OS DC são subdivididos nas seguintes categorias:

Datacenter Privado: Denominado como PDC (*Private Data Center*), são operados por instituições, corporações ou agências governamentais, onde se armazenam informações de processamentos internos e utilizados para manter sistemas governamentais.

Internet Datacenter: Os IDC (*Internet Data Center*) destinam-se a prover os serviços de telecomunicações, tendo como objetivo prestar serviços de armazenamento, hospedagem de sites e equipamentos de empresas.

Em qualquer tipo de DC (privado ou de Internet), a métrica de PUE tem por pressuposto já ter o projeto pronto. Apenas após a finalização do projeto é que o PUE é mensurado. Embora esta métrica seja fundamental para analisar a eficiência energética do DC, a sua aplicação é muito trabalhosa e com elevada complexidade de execução pelo fato de necessitar a geração de uma carga térmica com simulação energética para cada localização.

Existem outros fatores que não tangem este trabalho de investigação, como sejam a disponibilidade energética ou o risco sísmico, tendo enfoque exclusivo na área de maior impacto para além dos próprios equipamentos de IT que é a área térmica. Um DC típico com PUE = 2,1 tem uma seguinte distribuição do consumo de energia elétrica (Rasmussen, 2012):

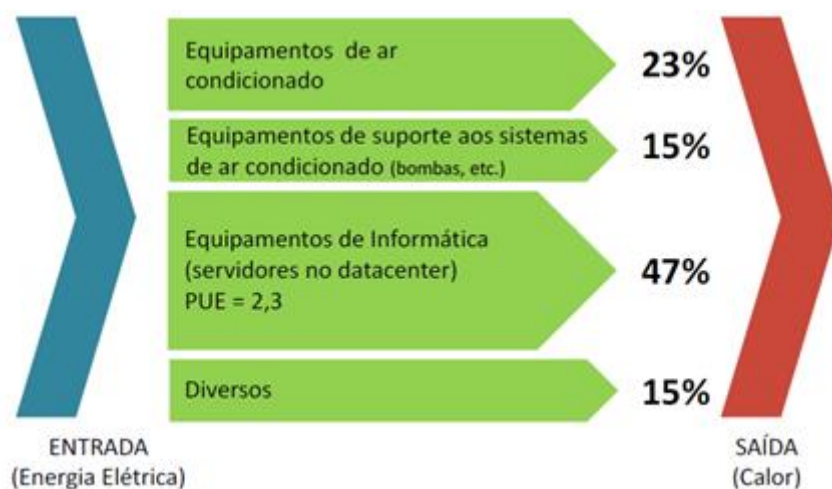


Figura 1. Distribuição do consumo de energia elétrica num DC típico (Ramussen, 2012).

A questão é que em um DC típico, excetuando o consumo elétrico dos equipamentos de informática (47%), dos 53% restantes, o sistema de climatização é responsável por 38% do consumo elétrico total, ou seja, informática e ar condicionado corresponde a cerca de 72% de todo o consumo elétrico da infraestrutura. Como a ênfase deste trabalho não se encontra direcionada à eficiência dos equipamentos de informática, a ideia reside na utilização de um índice que

possa auxiliar o investidor no apoio à tomada de decisão de qual o local mais adequado para a instalação de um DC, usando um ábaco com elementos simples e básicos.

Segundo EY (2015), os executivos necessitam de "Aumentar a velocidade da tomada de decisão e a eficiência da execução de projetos para aproveitar janelas de oportunidades".

Uma questão importante é que o PUE trabalha com ênfase em Potência e não em energia, uma métrica verdadeiramente precisa seria um EUE (*Energy Usage Effecttiness*), este artigo compara num mesmo tipo de sistema de climatização um EUE em duas cidades diferentes que à priori teriam um PUE muito próximo.

2.0 Casos de estudo

Observando pela métrica de comparação, o estudo aborda um datacenter de alta densidade, localizado em cidades com características semelhantes:

- Foz do Iguaçu-Paraná;
- Manaus (Eduardo Gomes) -Amazonas.

Ambas as cidades são próximas a grandes bacias, e baseado apenas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) (NBR 16401), possuem características semelhantes, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1. Dados das cidades de Foz de Iguaçu e Manaus (NBR 16401, 2008).

AM		Manaus - Eduardo Gomes				Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s
						3,15S	59,98W	84m	100,32	82/01		33,0	36,7	1,4	20,2	1,1
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação				
Set	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Fev	99,6%	TBS	TPO	w	TBSc		
ΔTmd	1%	34,8	25,9	27,3	31,5	26,2	21,8	29,3		99%	22,0	19,2	14,1	28,9		
8,0	2%	33,2	25,8	26,7	30,8	25,5	21,0	28,7			22,8	20,2	15,1	28,8		
PR		Foz de Iguaçu				Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s
						25,52S	54,58W	243m	98,44	85/01		29,4	37,2	0,9	0,1	1,9
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação				
Jan	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul	99,6%	TBS	TPO	w	TBSc		
ΔTmd	1%	35,1	23,6	26,1	31,6	24,6	20,1	28,7		99%	3,4	1,1	4,2	6,3		
11,1	2%	33,1	23,5	25,1	30,6	23,5	18,9	27,7			5,8	3,1	4,9	8,0		

A diferença entre a temperatura de bulbo seco das cidades é menor que 1% sendo a de Foz do Iguaçu maior, e a diferença da temperatura de bulbo úmido é de 4%, com o valor maior em Manaus Eduardo Gomes. Para efeitos psicrométricos, a altitude entre as cidades não varia mais que 159 m, pelo que esses valores não representam uma diferença suficiente para se mensurar alguma diferença num PUE.

Para efeito de comparação é usado um DC de alta densidade de 414 m², medindo 28,8 m x 14,4 m, e com uma dissipação de calor de equipamentos de: 347,3 kW de calor sensível (ou seja, 0,84 kW/m²), somados à carga térmica interna de 48 kW (condução, iluminação: 8 kW ao todo), pessoas e outros: 40 kW de perdas em Nobreak e outros). Para tal, foram selecionados **08 Equipamentos (04 efetivos e 04 reservas)** de precisão de 30 TR "dual Fluid", com 85% de Fator de Calor Sensível, com o esquema apresentado na Figura 1.

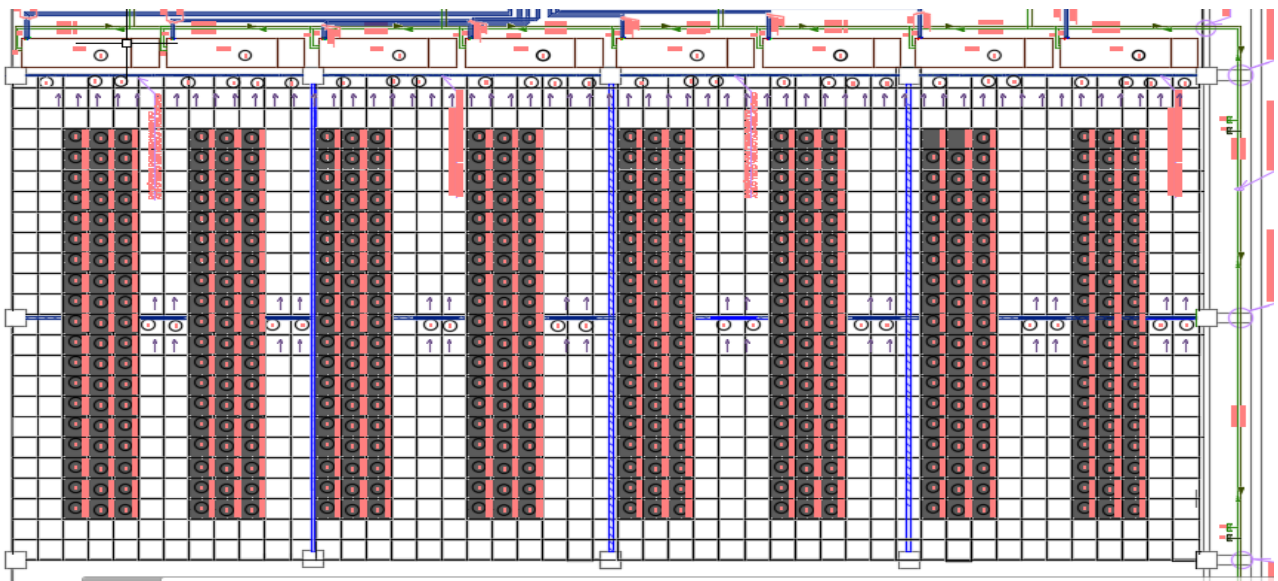


Figura 2. Seleção dos equipamentos do Datacenter – caso de estudo.

O equipamento *dual fluid* possui as características indicadas na Tabela 2.

Tabela 2. Característica do equipamento Dual fluid (EMERSONNETWORKPOWER, 2016).

Model		M34	M35	M41	M42	M47	M50	M58	M66	L83 [®]	L99 [®]
Total cooling capacity ⁽¹⁾	kW	36,2	37,0	45,8	42,8	53,7	54,9	60,1	70,3	86,3	104,6
Sensible cooling capacity ⁽²⁾	kW	34,1	35,1	43,4	41,5	49,0	49,3	52,7	58,5	79,5	89,3
SHR ⁽³⁾		0,94	0,95	0,95	0,97	0,91	0,90	0,88	0,83	0,92	0,85
EER ⁽⁴⁾		3,62	3,58	3,52	3,63	3,45	3,59	3,40	3,49	3,31	3,40
Number of compressors	n°	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2
Number of fans	n°	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Air delivery	m ³ /h	9490	9540	11230	11370	12250	12240	12910	13470	20020	21100
Max. ESP ⁽⁵⁾ downward/upward delivery	Pa	350/350	340/340	380/380	380/390	300/300	300/300	240/250	170/180	170	90
Sound pressure level ⁽⁶⁾	dB(A)	60,5	60,4	58,4	58,1	60,4	59,3	61,1	63,4	66,2	66,9
Width	mm	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	2550	2550
Depth	mm	850	850	850	850	850	850	850	850	890	890
Net weight	kg	590	580	600	600	620	635	650	670	950	1000

Ou seja, para a capacidade aproximada de 30 TR (Tonelada de Refrigeração ou 104,6 kW, para cada um dos oito equipamentos, sendo 01 efetivo e outro reserva), possui um EER (*Energy Efficiency Rate*) de 3,4 kW/kW (na condição de expansão direta), ou seja, o ponto de força do ar condicionado para atender a carga Térmica será de 123,5 kW. Portanto, sendo o PUE dado pela **Energia Total (equipamentos de dados + ar condicionado + Iluminação + perdas de nobreak e inversores e outros) / Energia Equipamentos de dados, o seu valor virá:**

$$(347,3+123,05+8+40) / (347,3) = 1,50\text{-kW/kW}$$

Este valor de 1,50 kW/kW é um valor excelente visto que para um DC típico já citado anteriormente é de 2,1 kW/kW.

Esses rendimentos dos equipamentos de ar condicionado se basearam numa temperatura de entrada do ar no condensador de 33 a 35°C, condição próxima das duas cidades já citadas, ou seja, o PUE das duas cidades seria o mesmo.

3. APRESENTAÇÃO ESTUDO DE COMPARAÇÃO PUE x EUE

Diferente do PUE já citado que trabalha apenas com índices de potência, o índice criado neste estudo, EUE, trabalha com as 8760 horas (sendo que a métrica de usar a energia ao invés de potência já ser uma sugestão da ISO 50006, onde usam para edifícios comerciais a métrica de kWh/m²).

Usando índices de temperatura de bulbo seco anual associado com a temperatura de ponto de orvalho coincidente (dados oriundos do *Ashrae Weather Data Viewer*), temos índices do EUE, classificados como:

- Free Cooling – Sistema que permite usar as características entálpicas do ar externo para climatizar um recinto;
- Evaporativo – Resfriamento adiabático, que consiste em resfriar o ambiente usando a temperatura de bulbo úmido;
- COP – Coeficiente de performance, que é utilizado para avaliar a relação entre a capacidade da refrigeração obtida e o trabalho gasto para realizá-lo.

Considerando por base uma temperatura média de insuflamento de 20 °C, a metodologia EUE foram especificados com os seguintes fatores (usando uma altitude de 163 m correspondente à média entre as duas cidades do estudo):

- A) Quando a temperatura estiver abaixo de 20°C e a entalpia estiver inferior a 18,4 BTU/LB, será apenas usado o *Free Cooling*;
- B) Quando a temperatura estiver entre 15 a 24 °C e a entalpia de 18,4 a 24 BTU/LB, será usado o sistema Evaporativo;
- C) Quando a temperatura estiver acima de 20 °C e acima de 24 BTU/LB, será usado o sistema normal nas seguintes condições:
 - 1) Temperatura de admissão de ar entre 24 a 27°C=COP1
 - 2) Temperatura de admissão de ar entre 27 a 30°C=COP2
 - 3) Temperatura de admissão de ar entre 30 a 33°C=COP3
 - 4) Temperatura de admissão de ar acima de 33°C qualquer condição = COP4

Para simular as condições do COP1, COP2, COP3 e COP4 foi usado o software Cool pack (onde foi iniciado pela condição 4 para simular um coeficiente isoentrópico padrão para conseguir identificar o COP com a variação nas temperaturas de condensação). Para efeito de temperatura de condensação, foi usado por padrão a média de temperatura de admissão de ar para cada situação somadas a 11 °C (sugestão do fabricante EMERSON-

NETWORKPOWER - Liebert), com as condições apresentadas na Tabela 3. Os resultados obtidos com o software apresentam-se da Tabela 4 à Tabela 7 para os casos COP4 a COP1 por ordem decrescente.

Tabela 3. Distribuição do consumo de energia elétrica num DC típico.

Casos	Potência do equipamento base [kW]	Temperatura de condensação [°C]	Temperatura de evaporação [°C]	Fluido Refrigerante	COP [kW/kW]
COP1	104,5	36,5	5	R410 A	4,14
COP2	104,5	39,0	5	R 410 A	3,87
COP3	104,5	42,5	5	R 410 A	3,52
COP4	104,5	44,0	5	R 410 A	3,40

Tabela 4. Cálculo COOLPACK – Caso COP4.

EES Distributable C:\program files (x86)\coolpack\eescooltools\pack_1.exe 1. Tool_C1 - [Cycle Specification]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

CYCLE SPECIFICATION			
TEMPERATURE LEVELS	PRESSURE LOSSES	SUCTION GAS HEAT EXCHANGER	REFRIGERANT
T_E [°C]: 5,0 ΔT_{SH} [K]: 5 T_C [°C]: 44,0 ΔT_{SC} [K]: 2	Δp_{SL} [K]: 0,5 Δp_{DL} [K]: 0,5	No SGHX 0,30	R410A
CYCLE CAPACITY			
Cooling capacity \dot{Q}_E [kW]: 104,5	\dot{Q}_E : 104,5 [kW] \dot{Q}_C : 128,2 [kW]	\dot{m} : 0,6568 [kg/s]	\dot{V}_S : 70,11 [m ³ /h]
COMPRESSOR PERFORMANCE			
Isentropic efficiency η_{is} [-]: 0,85	η_{is} : 0,850 [-] \dot{W} : 23,51 [kW]		
COMPRESSOR HEAT LOSS			
Heat loss factor f_G [%]: 5	f_G : 5,0 [%] T_2 : 69,4 [°C] \dot{Q}_{LOSS} : 1,175 [kW]		
SUCTION LINE			
Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K]: 1,0	\dot{Q}_{SL} : 1002 [W] T_8 : 11,0 [°C] $\Delta T_{SH,SL}$: 1,0 [K]		
<input type="button" value="Calculate"/>	<input type="button" value="Print"/>	<input type="button" value="Help"/>	<input type="button" value="Home"/> <input type="button" value="Auxiliary"/> <input type="button" value="State Points"/>
			COP : 4,445 COP* : 4,488

No caso COP4, para todas as situações deve-se considerar os ventiladores com a potência de 7,36 kW, ou seja, o COP de 4,45 com os ventiladores atinge $(104,5 / 23,5 \text{ compressores} + 7,36 \text{ ventiladores}) = 3,40 \text{ kW} / \text{kW}$.

Tabela 5. Cálculo COOLPACK – Caso COP3.

EES Distributable C:\program files (x86)\coolpack\eescooltools\pack_1.exe 1. Tool_C1 - [Cycle Specification]
 File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

CYCLE SPECIFICATION				
TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		REFRIGERANT
T_E [°C]:	5,0	ΔT_{SH} [K]:	5	R410A
T_C [°C]:	42,5	ΔP_{SL} [K]:	0,5	
		ΔP_{DL} [K]:	0,5	
CYCLE CAPACITY				
Cooling capacity \dot{Q}_E [kW]	104,5	\dot{Q}_E : 104,5 [kW]	\dot{Q}_C : 127 [kW]	\dot{m} : 0,6452 [kg/s]
				\dot{V}_S : 68,87 [m ³ /h]
COMPRESSOR PERFORMANCE				
Isentropic efficiency η_{IS} [-]	0,85	η_{IS} : 0,850 [-]	\dot{W} : 22,3 [kW]	
COMPRESSOR HEAT LOSS				
Heat loss factor f_Q [%]	5	f_Q : 5,0 [%]	T_2 : 67,3 [°C]	\dot{Q}_{LOSS} : 1,115 [kW]
SUCTION LINE				
Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K]	1,0	\dot{Q}_{SL} : 985 [W]	T_8 : 11,0 [°C]	$\Delta T_{SH,SL}$: 1,0 [K]

COP 3 Para todas as situações deve-se considerar os ventiladores com potencia de 7,36 kW, ou seja, o COP de 4,68 com os ventiladores vai para $(104,5 / (22,33 \text{ kW (compressor)} + (7,36 \text{ ventiladores}))) = 3,52 \text{ kW/kW}$.

Calculate	Print	Help	Home	Auxiliary	State Points	COP: 4,686	COP*: 4,730
-----------	-------	------	------	-----------	--------------	------------	-------------

Tabela 6. Cálculo COOLPACK – Caso COP2.

EES Distributable C:\program files (x86)\coolpack\eescooltools\pack_1.exe 1. Tool_C1 - [Cycle Specification]
 File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

CYCLE SPECIFICATION				
TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		REFRIGERANT
T_E [°C]:	5,0	ΔT_{SH} [K]:	5	R410A
T_C [°C]:	39,0	ΔP_{SL} [K]:	0,5	
		ΔP_{DL} [K]:	0,5	
CYCLE CAPACITY				
Cooling capacity \dot{Q}_E [kW]	104,5	\dot{Q}_E : 104,5 [kW]	\dot{Q}_C : 124,4 [kW]	\dot{m} : 0,6201 [kg/s]
				\dot{V}_S : 66,20 [m ³ /h]
COMPRESSOR PERFORMANCE				
Isentropic efficiency η_{IS} [-]	0,85	η_{IS} : 0,850 [-]	\dot{W} : 19,64 [kW]	
COMPRESSOR HEAT LOSS				
Heat loss factor f_Q [%]	5	f_Q : 5,0 [%]	T_2 : 62,4 [°C]	\dot{Q}_{LOSS} : 0,9821 [kW]
SUCTION LINE				
Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K]	1,0	\dot{Q}_{SL} : 946 [W]	T_8 : 11,0 [°C]	$\Delta T_{SH,SL}$: 1,0 [K]

COP 2 Para todas as situações deve-se considerar os ventiladores com potencia de 7,36 kW, ou seja, o COP de 5,32 com os ventiladores vai para $(104,5 \text{ kW} / (19,64 \text{ (compressor)} + (7,36))) = 3,87 \text{ kW/kW}$

Calculate	Print	Help	Home	Auxiliary	State Points	COP: 5,320	COP*: 5,368
-----------	-------	------	------	-----------	--------------	------------	-------------

Tabela 7. Cálculo COOLPACK – Caso COP1.

EES Distributable C:\program files (x86)\coolpack\eescooltools\pack_1.exe 1.Tool_C1 - [Cycle Specification]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

CYCLE SPECIFICATION								
TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		SUCTION GAS HEAT EXCHANGER		REFRIGERANT		
T_E [°C]:	5,0	ΔT_{SH} [K]:	5	Δp_{SL} [K]:	0,5	No SGHX	0,30	R410A
T_C [°C]:	36,5	ΔT_{SC} [K]:	2	Δp_{DL} [K]:	0,5			
CYCLE CAPACITY								
Cooling capacity \dot{Q}_E [kW]	104,5	\dot{Q}_E : 104,5 [kW]	\dot{Q}_C : 122,7 [kW]	\dot{m} : 0,6037 [kg/s]	\dot{V}_S : 64,45 [m³/h]			
COMPRESSOR PERFORMANCE								
Isentropic efficiency η_{IS} [-]	0,85	η_{IS} : 0,850 [-]	\dot{W} : 17,86 [kW]					
COMPRESSOR HEAT LOSS								
Heat loss factor f_Q [%]	5	f_Q : 5,0 [%]	T_2 : 58,9 [°C]	\dot{Q}_{LOSS} : 0,893 [kW]				
SUCTION LINE								
Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K]	1,0	\dot{Q}_{SL} : 921 [W]	T_8 : 11,0 [°C]	$\Delta T_{SH,SL}$: 1,0 [K]				

COP 1 Para todas as situações deve-se considerar os ventiladores com potencia de 7,36 kW, ou seja, o COP de 5,85 com os ventiladores vai para $(104,5 \text{ kW}/(17,86+7,36))= 4,14 \text{ kW/kW}$.

Calculate	Print	Help	Home	Auxiliary	State Points	COP : 5,851	COP* : 5,903
-----------	-------	------	------	-----------	--------------	-------------	--------------

A partir dos COPs obtidos pelo software CoolPack e dos dados base da metodologia do sistema de entalpia para DCs, foi elaborado um sistema de ampla abrangência psicrométrica para todos os pontos possíveis de temperatura externa, seja para “Free Cooling”, Evaporativo ou Refrigeração, conforme exposto na Figura 3.

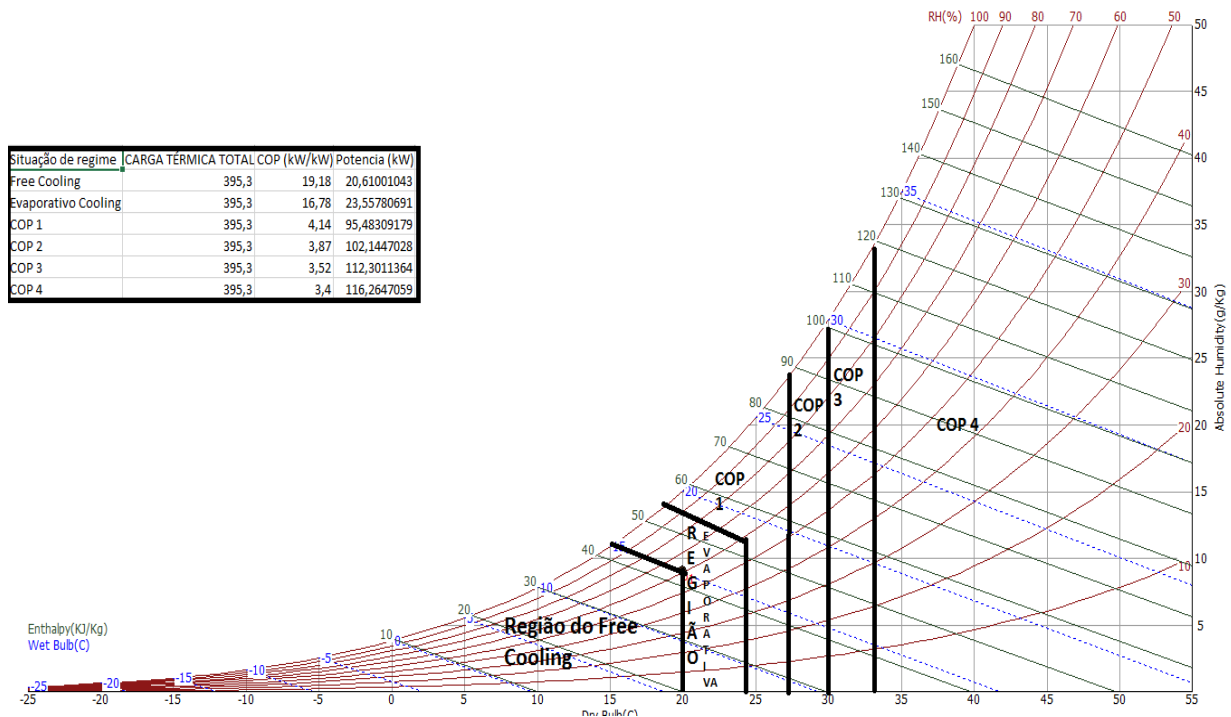


Figura 3. Carta psicrométrica (COOLPACK, 2016).

Utilizando o Software da ASHRAE (2013), Weather Data Viewer, foi definido como método a associação das frequências de temperatura de bulbo seco com as temperaturas de ponto de orvalho coincidentes, e em cada ponto encontrou-se a entalpia associada a essa relação. Na Tabela 8 são apresentadas as frequências acumuladas para cada sistema e cidade.

Tabela 8. Frequência em horas de utilização.

Regime de funcionamento	Foz de Iguaçu [Horas]	Manaus [Horas]
Free Cooling	2069,77	0,41
Evaporativo Cooling	2851,63	4,42
COP1	2326,91	5787,75
COP2	842,60	1463,54
COP3	529,29	1127,60
COP4	139,78	376,25

Com o mesmo software da ASHRAE, selecionando conforme proposto o índice EUE, foram classificadas as frequências em horas trabalhadas das duas cidades, Foz de Iguaçu e Manaus. Nota-se que entre as cidades há diferenças. Na cidade de Foz do Iguaçu, o Sistema Evaporativo teve maior frequência, 2851,63 horas, quando a temperatura está entre 15 a 24 °C e a entalpia de 18,4 a 24 BTU/LB. A cidade de Manaus ficou apenas com 4,42 horas de frequência de utilização. Com o sistema Free cooling, que entra em funcionamento quando a temperatura se encontra abaixo de 20°C e a entalpia inferior a 18,4 BTU/LB, obtiveram-se 2069,77 horas de frequência em Foz do Iguaçu enquanto que em Manaus atingiu apenas 0,41 horas.

Tabela 9. Cálculos utilizando as regras do índice EUE.

Regime de funcionamento	Carga Térmica Total [kW]	COP [kW/kW]	Potência [kW]	Foz de Iguaçu [Horas]	Manaus [horas]
Free Cooling	395,3	19,18	20,61	2069,77	0,41
Evaporativo	395,3	16,78	23,55	2851,63	4,42
COP1	395,3	4,14	95,48	2326,91	5787,75
COP2	395,3	3,87	102,14	842,60	1463,54
COP3	395,3	3,52	112,30	529,29	11
COP4	395,3	3,40	116,26	139,78	376,25
Regime de funcionamento	Energia Foz ar [kWh/ano]	Energia Manaus ar [kWh/ano]	Equipamentos [kWh/ano]	Iluminação [kWh/ano]	Outros [kWh/ano]
Free Cooling	42658,03	8,55	3042348	70080	420480
Evaporativo	67178,17	104,24			
COP1	222181,27	552632,79			
COP2	86067,45	149493,18			
COP3	59440,11	126631,71			
COP4	16251,89	43744,86			
Total gasto ar	493776,9401	872615,3684			

Conforme a Tabela 9, constata-se que com as regras propostas no EUE, onde se classifica em 6 níveis: *Free cooling*; Evaporativo; COP1; COP2; COP3; e COP 4, as cidades de Foz de Iguaçu no Paraná e Manaus no Amazonas tem consumos de energia de ar condicionado diferentes conforme sua temperatura e entalpia. Num período de 8760 horas, o consumo de Manaus é 43,41% superior ao do DC instalado em Foz do Iguaçu. Nesta tabela também se verifica que quanto maior o COP, menor é o consumo de energia.

Tabela 10. Resultados finais dos cálculos utilizando as regras do índice EUE.

Parâmetro	Valor
Energia consumida na infraestrutura do DC em Foz do Iguaçu [kWh ano]	984336,94
Energia consumida na infraestrutura do DC em Manaus [kWh ano]	1363175,36
EUE – Foz do Iguaçu	1,32
EUE – Manaus	1,44
DIFERENÇA EUE/PUE (Foz de Iguaçu) ano	17,51%
DIFERENÇA EUE/PUE (Manaus) ano	4,45%

Os consumos de energia com a infraestrutura, dados pelo somatório do consumo de energia com equipamentos de ar condicionado, iluminação e outros, entre as duas cidades apresentam uma diferença de 27,79% a mais de Manaus em relação a Foz do Iguaçu. Os índices obtidos com aplicação do índice EUE, foram respectivamente, de 1,32 kW/kW para Foz do Iguaçu e 1,44 kW/kW para Manaus (Eduardo Gomes), dando uma diferença de 17,51% para Foz do Iguaçu e de 4,45% para Manaus em relação ao PUE destas mesmas cidades que é de 1,50 kW/kW.

4. CONCLUSÃO

O índice proposto EUE é um índice mais confiável comparado ao PUE para analisar a eficiência energética em novos DCs pelo fato que usa como métrica a energia ao invés de potência para comparação entre sistemas.

A entalpia é uma ferramenta essencial para escolher qual o melhor local para se instalar um DC, pela visão holística que compreende.

Os resultados apresentaram diferença significativa do EUE para o PUE, na infraestrutura de um DC a diferença foi de 27,79% menor consumo em Foz do Iguaçu comparado a Manaus, e nos índices de PUE que eram para ambas as cidades de 1,50 kW/kW, ficou o EUE de 1,32 kW/kW para Foz do Iguaçu e de 1,44 kW/kW para Manaus Eduardo Gomes.

5. REFERÊNCIAS

- ASHRAE. 2014. Thermal Guidelines for Data Processing Environments. 4rd Edition. ASHRAE Datacom series.
- ASHRAE. 2014. Technical Committee (TC) 9.9 - Mission Critical Facilities, Technology Spaces, and Electronic Equipment. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc. (ASHRAE).
- ASHRAE. 2009. Guide Pocket ASHRAE for Air conditioning, Heating, Ventilation, and Refrigeration. ASHRAE. EUA. 7 edição.
- ASHRAE. Ashrae Weather Data Viewer Software. Disponível em www.ashrae.org, [Acessado em 02/05/2016].
- ABNT 16401. 2008. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários, qualidade do ar interior. Rio de Janeiro.
- Cisco. 2015. Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology. 2014–2019. White Paper FLGD 12624, Cisco.
- Cisco. 2015. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology. 2014–2019. White Paper FLGD 12352, Cisco.
- EPA. 2007. Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency, Public Law 109-431, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), ENERGY STAR Program, August 2.
- EXAME. 2007. Datacenters. Revista Exame. São Paulo.
- EY. 2015. Lessons from change: building a better working world. Ernst & Young.
- Filho, D.P and, J.A. Santos. 2001. Metodologia científica. Editora Futura. São Paulo.
- Harriman III & Lstiburek, 2009. The ASHRAE Guide for Buildings in Hot & Humid Climates. Second Edition, new content. ASHRAE.
- IDC. Worldwide Datacenter Census and Construction 2014–2018 Forecast: Aging Enterprise Datacenters and the Accelerating Service Provider Buildout. Doc # 251830 - Market Analysis, International Data Corporation (IDC), October 2014.
- ISO 50006. Energy management systems -- Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy. 2014.
- EMERSONNETWORKPOWER. Característica do equipamento Dual fluid (LIEBERT). Disponível em <http://www.emersonnetworkpower.com/en-US/Brands/Liebert/Pages/default.aspx>, Acessado em 02/03/2016.
- Kavanaugh & Raffery, Geothermal Heating and Cooling. First Edition, Design of Ground Source. ASHRAE.2014.
- Koomey, J. Growth in Data center electricity use 2005 to 2010. Oakland, CA: Analytics Press, 2011.
- NRDC. America's Data Centers Are Wasting Huge Amounts of Energy. Issue Brief, iB: 14-08-a, Natural Resources Defense Council (NRDC), August 2014.
- Rasmussen, N. Implementing Energy Efficient Data Centers. White Paper 114. Schneider Electric's Data Center Science Center. Schneider-Electric, 2012.
- STEINBRECHER, R.A., SCHMIDT, R. Performance indicators (EnPI) -- General principles and guidance. 2014.
- STEINBRECHER, R. A.; SCHMIDT, R. Data Center Environments: ASHRAE's Evolving Thermal Guidelines. ASHRAE Journal. December 2011, pp. 42.
- The Green Grid. PUE™: A comprehensive examination of the metric. White paper #49 (Eds: V. Avelar, D. Azevedo, A. French), The Green Grid, 2012.
- Thibodeau, P. Data centers are the new polluters. ComputerWorld, August. 2014.
- 3M. Two-Phase Immersion Cooling: A revolution in data center efficiency. 3M, 2015.

Abstract: *The energy consumption rate associated with data centers has been increased significantly in the last decade and is expected to increase by up to 53% in 2020. The energy efficiency of this type of high energy consumption enclosures is essential. There are methodologies to measure this efficiency such as PUE (Power Usage Effectiveness). However, this index, although important, does not reflect in full efficiency. This study evaluates and demonstrates this condition for 02 data centers with close PUE. To do this, the efficiency is compared to a new index to be created, the EUE (Energy Usage Effectiveness). In metric, instead of considering power as a point of comparison, it makes use of energy as a comparison factor. The study uses the use of enthalpy with a new methodology for the results, having obtained a difference between the rates of 4.45% compared to Manaus and 17.51% over the city of Foz do Iguaçu.*

Keywords: *data centers, energy consumption, PUE, data center cooling.*