

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (GE68A)

Resumo de Referências para a Etapa 1

Tema 6: Suprimento de Energia para Data Center Modular

Aleksander Da Silva Toth
Emanuel Dantas de Carvalho
Gabriel Eidi Lopes Yamashita

Conteúdo

1	Introdução	3
2	Nota Metodológica: O Uso das Referências	3
3	Pilar 1: Análise de Demanda e Carga	3
3.1	NOVEC Data Center Load Forecast [22]	3
3.2	Load Duration Curves in Development of TMDLs (EPA) [28]	3
3.3	Load Growth Is Here to Stay, but Are Data Centers? (E3) [9]	4
4	Pilar 2: Dimensionamento e Confiabilidade	5
4.1	Datasheet: Modular Data Center All-in-One (Schneider) [26]	5
4.2	The Importance of Energy Backup for Data Centers (DELTA) [8]	5
4.3	Eficiência Energética em Data Center: Estudo de Caso (TCC) [14]	5
4.4	Norma ABNT NBR 14039 [21]	5
4.5	Norma IEC 60909-0 [13]	6
4.6	Datasheet Painel Solar (DAH Solar) [7]	6
4.7	Datasheet Inversor Solar (SOFAR) [27]	6
5	Pilar 3: Tecnologias Avançadas (Eficiência e Operação)	7
5.1	Efficient data center design using novel modular DC UPS [4]	7
5.2	ZVS Switched-Tank Modular Converter for Data Center [29]	7
5.3	UPS Operation for Islanded Operation of Data Centres [6]	7
5.4	Reverse Startup Procedure for... Data Centres [1]	7
5.5	Energy-Saving Potential of Air-Side Economisers [2]	7
6	Pilar 4: Análise Econômica	9
6.1	Análise de Cenários Econômicos (EN67A) [11]	9
6.2	Apresentação Slides: Geração de Energia (GE68A) [5]	9
6.3	Data Centers: Surging Demand (S&P Global) [25]	9
6.4	Energy Management from Design to O&M [3]	9
7	Pilar 5: Análise Ambiental	10
7.1	Aula: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (CA68A) [16]	10
7.2	Aula: Poluição Atmosférica (CA68A) [17]	10
7.3	Diretiva RoHS (Restriction of Hazardous Substances) [10]	10
7.4	Beneath the surface: Water stress in data centers [24]	10
8	Bônus: Plano de Ação por Membro (Etapa 1)	11
8.1	Aleksander Da Silva Toth (Foco: Demanda e CAPEX)	11
8.2	Emanuel Dantas de Carvalho (Foco: Confiabilidade e OPEX)	11
8.3	Gabriel Eidi Lopes Yamashita (Foco: Dimensionamento e LCOE)	11

1 Introdução

Este documento resume as referências bibliográficas mais relevantes, filtradas de um conjunto de mais de 40 arquivos, para a execução da **Etapa 1** do projeto (Issues #8, #9, #10 e #11).

O objetivo é servir como um guia rápido para a equipe, direcionando cada membro para as fontes primárias e secundárias necessárias para suas tarefas específicas, conforme definido no documento de Proposta.

2 Nota Metodológica: O Uso das Referências

Conforme discutido, este documento lista tanto os materiais de aula (slides das disciplinas) quanto as fontes primárias (livros, normas, artigos).

A recomendação é que os materiais de aula (ex: [5], [16]) sirvam como **guias de estudo** para entender a metodologia exata do professor.

No entanto, no **Relatório Final** (que será o entregável da Etapa 1 e Etapa Final), o trabalho deve priorizar as citações diretas às **fontes primárias** (os livros da bibliografia básica, como [19] ou [20], as normas ABNT/IEC e os artigos técnicos), assim como foi feito nos relatórios de Iniciação Científica [23].

3 Pilar 1: Análise de Demanda e Carga

(*Foco principal da Issue #8*)

3.1 NOVEC Data Center Load Forecast [22]

Arquivo: 20241025-item-03b--novec-large-load-request.pdf

- **Resumo:** Referência-chave. Apresentação real da cooperativa NOVEC mostrando graficamente que a curva de carga de um data center é "flat"(plana).
- **Uso Prático:** Justifica a premissa de um **Fator de Carga (FC) muito alto** (ex: 90%).
- **Relevante para:** Aleksander (Cálculo do FC), Gabriel (Consumo Anual).

3.2 Load Duration Curves in Development of TMDLs (EPA) [28]

Arquivo: 2007_08_23_tmdl_duration_curve_guide_aug2007.pdf

- **Resumo:** Guia oficial da EPA (EUA) sobre a **Curva de Duração de Carga (CDC)**.
- **Uso Prático:** Fornece a metodologia exata para a tarefa "Construir a CDC"e "Identificar carga base e de ponta".
- **Relevante para:** Aleksander.

3.3 Load Growth Is Here to Stay, but Are Data Centers? (E3) [9]

Arquivo: E3-White-Paper-2024-Load-Growth...pdf

- **Resumo:** Relatório técnico que corrobora a referência da NOVEC, afirmando que a carga é "relativamente estável" e usa uma premissa de **Fator de Carga de 86%**.
- **Uso Prático:** Fonte secundária para validar a premissa de $FC \approx 90\%$.
- **Relevante para:** Aleksander, Gabriel.

4 Pilar 2: Dimensionamento e Confiabilidade

(Foco principal das Issues #9 e #10)

4.1 Datasheet: Modular Data Center All-in-One (Schneider) [26]

Arquivo: Schneider_Electric_Modular-Data-Center...PFMIEC020D1N006D.pdf

- **Resumo:** Datasheet real da Schneider Electric para um Data Center Modular.
- **Uso Prático:** Fonte primária para "Dimensionamento preliminar". Fornece dados reais de potência (20kW), tensões e PUE de referência.
- **Relevante para:** Gabriel (Dimensionamento), Aleksander (CAPEX).

4.2 The Importance of Energy Backup for Data Centers (DELTA) [8]

Arquivo: Technical_Article_2 - DELTA.pdf

- **Resumo:** Artigo técnico da DELTA sobre a importância do backup de energia. Discute falhas da rede e a necessidade de **redundância (N+1, 2N)**.
- **Uso Prático:** Justifica a arquitetura do nosso sistema híbrido (Rede + Gerador + BESS/UPS) e embasa a "Análise da Confiabilidade".
- **Relevante para:** Emanuel (Confiabilidade).

4.3 Eficiência Energética em Data Center: Estudo de Caso (TCC)

[14]

Arquivo: 2015JuarezSantanaFracalossiJunior.pdf

- **Resumo:** O TCC de referência. Define a métrica **PUE** e a classificação de **Tiers (1 a 4)** da norma ANSI/TIA-942.
- **Uso Prático:** Referencial teórico principal para "Eficiência" e "Confiabilidade".
- **Relevante para:** Todos os membros.

4.4 Norma ABNT NBR 14039 [21]

Arquivo: NBR14039.pdf

- **Resumo:** Norma ABNT para instalações de Média Tensão (1,0 kV a 36,2 kV).
- **Uso Prático:** Norma técnica obrigatória para justificar o dimensionamento da conexão com a concessionária.
- **Relevante para:** Gabriel (Dimensionamento).

4.5 Norma IEC 60909-0 [13]

Arquivo: IEC60909-0.pdf

- **Resumo:** Norma IEC para cálculo de correntes de curto-circuito.
- **Uso Prático:** Metodologia base para a "Análise da Confiabilidade"(proteção do sistema).
- **Relevante para:** Emanuel (Confiabilidade).

4.6 Datasheet Painel Solar (DAH Solar) [7]

Arquivo: Placa DHM-72L9_DadosCurvas.pdf

- **Resumo:** Datasheet de painel solar bifacial (435-465W).
- **Uso Prático:** Base para o dimensionamento do sistema fotovoltaico (cálculo de área, potência e eficiência).
- **Relevante para:** Aleksander (Geração Anual), Gabriel (Dimensionamento).

4.7 Datasheet Inversor Solar (SOFAR) [27]

Arquivo: SOFAR_xKTL-G3_inverter-datasheet.pdf

- **Resumo:** Datasheet de um inversor grid-tie (3-6kW) com MPPT.
- **Uso Prático:** Base para o dimensionamento da eletrônica de potência solar e para a estimativa de eficiência da conversão CC/CA.
- **Relevante para:** Aleksander, Gabriel.

5 Pilar 3: Tecnologias Avançadas (Eficiência e Operação)

(Foco na diferenciação do projeto)

5.1 Efficient data center design using novel modular DC UPS [4]

Arquivo: Efficient_data_center_design_using...pdf

- **Resumo:** Artigo que propõe o uso de um **barramento DC** (Corrente Contínua) para alimentar os servidores, eliminando perdas de conversão AC-DC-AC-DC.
- **Uso Prático:** Justifica a escolha de uma arquitetura de BESS/UPS de alta eficiência.
- **Relevante para:** Aleksander, Gabriel (Dimensionamento).

5.2 ZVS Switched-Tank Modular Converter for Data Center [29]

Arquivo: Zero_Voltage_Switching_Switched-Tank_Modular...pdf

- **Resumo:** Artigo de pesquisa que conecta **conversores avançados (ZVS)** diretamente à aplicação em data centers.
- **Uso Prático:** Embasamento teórico para o projeto do conversor do BESS/UPS.
- **Relevante para:** Aleksander (TCC/IC).

5.3 UPS Operation for Islanded Operation of Data Centres [6]

Arquivo: UPS_Operation_of_Multi-Terminal...pdf

- **Resumo:** Descreve a lógica de controle para o **modo ilhado** (operação em UPS) quando a rede principal falha.
- **Uso Prático:** Metodologia exata para a "Análise de Confiabilidade". É um cenário de simulação perfeito (PSCAD).
- **Relevante para:** Emanuel (Confiabilidade), Aleksander (Flexibilidade).

5.4 Reverse Startup Procedure for... Data Centres [1]

Arquivo: Reverse_Startup_Procedure...pdf

- **Resumo:** Descreve o procedimento para **ressincronizar e reconectar** o data center (que estava ilhado) à rede principal.
- **Uso Prático:** Metodologia exata para a "Análise da Flexibilidade Operacional".
- **Relevante para:** Aleksander (Flexibilidade).

5.5 Energy-Saving Potential of Air-Side Economisers [2]

Arquivo: The_Energy-Saving_Potential_of_Air-Side_Economisers...pdf

- **Resumo:** Analisa o potencial de "Air-Side Economisers"(refrigeração "gratuita" com ar externo).
- **Uso Prático:** Metodologia de refrigeração que podemos adotar para justificar um PUE baixo.
- **Relevante para:** Gabriel (Dimensionamento), Emanuel (OPEX).

6 Pilar 4: Análise Econômica

(Foco nas Issues #8 e #9)

6.1 Análise de Cenários Econômicos (EN67A) [11]

Arquivo: ANALISE-DE-CENARIOS-ECONOMICOS.pdf

- **Resumo:** Material da disciplina de Economia (EN67A).
- **Uso Prático:** Base para a **análise de sensibilidade** (ex: efeito do preço do diesel) e para a definição da **taxa de desconto (r)** do LCOE.
- **Relevante para:** Aleksander (CAPEX), Emanuel (OPEX), Gabriel (LCOE).

6.2 Apresentação Slides: Geração de Energia (GE68A) [5]

Arquivo: Apresentação_Slides__Geração_de_Energia.pdf

- **Resumo:** Material da disciplina de Geração (GE68A).
- **Uso Prático:** Contém a **fórmula exata do LCOE** usada pelo professor. Esta deve ser a base do cálculo.
- **Relevante para:** Gabriel (LCOE).

6.3 Data Centers: Surging Demand (S&P Global) [25]

Arquivo: Data Centers_ Surging Demand Will Benefit And Tes...pdf

- **Resumo:** Relatório da S&P Global sobre a "explosão" da demanda por IA.
- **Uso Prático:** Justificativa de mercado para o projeto e para o alto **CAPEX**.
- **Relevante para:** Aleksander (CAPEX), Todos (Relatório).

6.4 Energy Management from Design to O&M [3]

Arquivo: Energy_Management_in_Data_Centers...pdf

- **Resumo:** Artigo focado em gerenciamento de energia pós-design.
- **Uso Prático:** Fonte de referência direta para a estimativa de custos de **OPEX**.
- **Relevante para:** Emanuel (OPEX).

7 Pilar 5: Análise Ambiental

(Foco na [Issue #9](#), e tarefa de Gabriel)

7.1 Aula: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (CA68A) [16]

Arquivo: CA68A_aula_29sep2025_alunos.pdf

- **Resumo:** Aula de Ciências do Ambiente (CA68A) sobre **ACV**.
- **Uso Prático:** Esta será a **metodologia principal** para a tarefa "Impactos socioambientais".
- **Relevante para:** Gabriel.

7.2 Aula: Poluição Atmosférica (CA68A) [17]

Arquivo: CA68A_aula_22sep2025.pdf

- **Resumo:** Aula de CA68A sobre **Poluição Atmosférica**.
- **Uso Prático:** Base para analisar as emissões do gerador a diesel (GEE, particulados).
- **Relevante para:** Gabriel.

7.3 Diretiva RoHS (Restriction of Hazardous Substances) [10]

Arquivo: export_RoHS...pdf

- **Resumo:** Documento sobre a diretiva **RoHS** da UE.
- **Uso Prático:** Metodologia para analisar o impacto do **descarte** dos componentes eletrônicos.
- **Relevante para:** Gabriel.

7.4 Beneath the surface: Water stress in data centers [24]

Arquivo: Beneath the surface_ Water stress in data centers...pdf

- **Resumo:** Relatório da S&P Global sobre o **consumo de água** (métrica **WUE**).
- **Uso Prático:** Diferencial na análise de impacto (água vs. energia).
- **Relevante para:** Gabriel.

8 Bônus: Plano de Ação por Membro (Etapa 1)

Abaixo está um guia passo a passo sugerido para cada membro, conectando as tarefas do escopo [14] às referências que filtramos.

8.1 Aleksander Da Silva Toth (Foco: Demanda e CAPEX)

1. **Definir a Curva de Carga:** Usar [22] e [9] para justificar uma premissa de Demanda Máxima (ex: 10 MW) e Fator de Carga (ex: 90%).
2. **Construir a CDC:** Plotar a Curva de Duração de Carga (CDC) usando a metodologia do guia da EPA [28].
3. **Estimar Geração Solar:** Usar o livro [18] e os dados do painel [7] para estimar a geração anual de energia do sistema fotovoltaico.
4. **Estimar o CAPEX:** Usar os datasheets [26] e os relatórios [25] para estimar o custo inicial (hardware, terreno, instalação).
5. **Definir BESS/UPS (Tecnologia):** Usar os artigos [4] e [29] para definir a arquitetura (ex: Barramento DC) do sistema de armazenamento, alinhado ao TCC/IC.
6. **Analizar Flexibilidade:** Usar o artigo [1] para descrever a metodologia de reconexão à rede.

8.2 Emanuel Dantas de Carvalho (Foco: Confiabilidade e OPEX)

1. **Definir Confiabilidade (Tier):** Usar o TCC [14] e o artigo da DELTA [8] para definir o nível de redundância (ex: N+1, Tier 3).
2. **Metodologia de Proteção:** Definir que a análise de confiabilidade usará a norma [13] e o livro [19] como base.
3. **Analizar Modo Ilhado:** Usar o artigo [6] para descrever a operação do UPS durante uma falha da rede.
4. **Estimar Fator de Capacidade:** Usar os livros [18] e [12] para definir o Fator de Capacidade.
5. **Estimar o OPEX:** Usar o artigo [3] e o material [11] para custos de O&M, combustível e energia da rede.

8.3 Gabriel Eidi Lopes Yamashita (Foco: Dimensionamento e LCOE)

1. **Cálculos Iniciais:** Usar os dados do Aleksander (Demanda Máx, FC) para calcular o Consumo Anual de Energia.
2. **Dimensionamento (MT):** Usar a norma [21] e o livro [15] para dimensionar a conexão e os transformadores.
3. **Dimensionamento (BT/Módulos):** Usar os datasheets [26] e [27] para especificar os módulos e inversores.

4. **Calcular o LCOE:** Usar a fórmula do slide [5], com os dados de CAPEX/OPEX e os conceitos do livro [20].
5. **Análise de Impactos (ACV):** Executar a tarefa "Impactos socioambientais" usando a metodologia ACV [16], analisando emissões [17], descarte (RoHS [10]) e consumo de água (WUE [24]).

Referências

- [1] D. Das A. N e C. Kumar. «Reverse Startup Procedure for Multi Terminal Smart Transformer Supplying Data Centres». Em: *IEEE Guwahati Subsection Conference (GCON)* (2025). Arquivo: Reverse_Startup_Procedure...pdf.
- [2] M. K. Al-Khasawneh et al. «The Energy-Saving Potential of Air-Side Economisers in Modular Data Centres». Em: *Applied Sciences* 9.21 (2019). Arquivo: The_Energy-Saving_Potential_of_Air-Side_Economisers...pdf.
- [3] S. F. Aghaei et al. «Energy Management in Data Centers from Design to Operations and Maintenance». Em: *IEEE Access* 8 (2020). Arquivo: Energy_Management_in_Data_Centers...pdf, pp. 206385–206411.
- [4] A. Askari e M. S. J. M. S. Asl. «Efficient data center design using novel modular DC UPS». Em: *Journal of Energy Management and Technology* 3.3 (2019). Arquivo: Efficient_data_center_design_using...pdf, pp. 48–55.
- [5] Prof. Vinicius Dario Bacon. *Apresentação Slides: Geração de Energia (LCOE)*. Material da Disciplina - UTFPR-AP. Arquivo: Apresentação_Slides_ _ _ Geração_de_Energia.pdf. 2024.
- [6] A. N D. Das e C. Kumar. «UPS Operation of Multi-Terminal Smart Transformer for Islanded Operation of Data Centres». Em: *IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)* (2022). Arquivo: UPS_Operation_of_Multi-Terminal...pdf.
- [7] DAH Solar. *DHM-72L9/BF Bifacial Half-cell High Efficiency PV Module*. Rel. téc. Datasheet. Arquivo: Placa DHM-72L9_DadosCurvas.pdf. 2023.
- [8] Delta Electronics. *The Importance of Energy Backup for Data Centers*. Artigo Técnico. Arquivo: Technical Article_2 - DELTA.pdf. 2017.
- [9] Energy and Environmental Economics (E3). *Load Growth Is Here to Stay, but Are Data Centers?* Rel. téc. Arquivo: E3-White-Paper-2024-Load-Growth-Is-Here-to-Stay-but-Are-Data-Centers-2.pdf. E3, jul. de 2024.
- [10] European Commission. *DIRECTIVE 2011/65/EU on the restriction of the use of certain hazardous substances (RoHS)*. Rel. téc. Arquivo: export_RoHS...pdf. European Commission, 2022.

- [11] Prof. Dr. Ronie Galeano. *Análise de Cenários Econômicos*. Material da Disciplina - UTFPR-AP. Arquivo: ANALISE-DE-CENARIOS-ECONOMICOS.pdf. 2024.
- [12] Hélio M. Gomes. *Energia Eólica: Fundamentos e Tecnologia*. Editora LTC, 2015.
- [13] *IEC 60909-0: Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents*. Arquivo: IEC60909-0.pdf. International Electrotechnical Commission (IEC), 2016.
- [14] Juarez Santana Fracalossi Junior. *Eficiência Energética em Data Center: Estudo de Caso Univates*. Monografia (Engenharia da Computação). Arquivo: 2015JuarezSantanaFracalossiJunior.pdf. Lajeado, 2015.
- [15] Irving L. Kosow. *Máquinas Elétricas e Transformadores*. 15^a. Editora Globo, 2009.
- [16] Prof. Dr. Patricia Krecl. *Ciências do Ambiente - Aula: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) - Parte 1*. Notas de Aula (29/09/2025) - UTFPR-AP. Arquivo: CA68A_aula_29sep2025_alunos.pdf. 2025.
- [17] Prof. Dr. Patricia Krecl. *Ciências do Ambiente - Aula: Poluição Atmosférica*. Notas de Aula (22/09/2025) - UTFPR-AP. Arquivo: CA68A_aula_22sep2025.pdf. 2025.
- [18] Arno Krenzinger e Hélio M. Gomes. *Energia Solar Fotovoltaica: Manual de Engenharia*. Editora LTC, 2014.
- [19] João Mamede. *Instalações Elétricas Industriais*. 8^a. Editora LTC, 2012.
- [20] N. Gregory Mankiw. *Introdução à Economia*. 5^a. Cengage Learning, 2009.
- [21] *NBR 14039: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV*. Arquivo: NBR14039.pdf. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2005.
- [22] Northern Virginia Electric Cooperative (NOVEC). *NOVEC Data Center Load Forecast*. Apresentação para PJM Load Analysis Subcommittee (LAS). Arquivo: 20241025-item-03b—novec-large-load-request.pdf. Out. de 2024.
- [23] Muhammad H Rashid. *Power electronics: circuits, devices, and applications*. Referência da IC. Pearson Education, 2009.
- [24] S&P Global Ratings. *Beneath the surface: Water stress in data centers*. Rel. téc. Relatório de Mercado. Arquivo: Beneath the surface_ Water stress...pdf. Abr. de 2024.

- [25] S&P Global Ratings. «Data Centers: Surging Demand Will Benefit And Test U.S. Public Power Utilities». Em: (jul. de 2024). Relatório de Mercado. Arquivo: Data Centers_Surging Demand...pdf.
- [26] Schneider Electric. *Modular Data Center All-in-One Essential 20kW*. Rel. téc. Datasheet. Arquivo: Schneider Electric_Modular-Data-Center-AllinOne-Essential...pdf. 2024.
- [27] SOFAR SOLAR. *SOFAR 3K 6KTLM-G3 Single-Phase Dual-MPPT Inverter*. Rel. téc. Datasheet. Arquivo: SOFAR_xKTLM-G3_inverter-datasheet.pdf. 2023.
- [28] U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs*. Rel. téc. Arquivo: 2007_08_23_tmdl_duration_curve_guide_EPA, ago. de 2007.
- [29] H. Li Z. Ye Y. Han e G. Li. «Zero-Voltage-Switching Switched-Tank Modular Converter for Data Center Application». Em: *IEEE Transactions on Power Electronics* 38.1 (2023). Arquivo: Zero_Voltage_Switching_Switched-Tank_Modular...pdf, pp. 933–945.