

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO EBUS DO LABORATÓRIO FOTOVOLTAICA UFSC: ÔNIBUS ELÉTRICO ASSOCIADO A ENERGIA SOLAR E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA COM BATERIAS DE SEGUNDA VIDA

Laís Cassanta Vidotto – laiscvidotto@gmail.com

Aline Kirsten Vidal de Oliveira

Ricardo Rütther

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico

Resumo. *Cidades ao redor do mundo, inclusive cidades brasileiras, estão investindo cada vez mais em sistemas de mobilidade elétrica, visando reduzir o impacto do setor de transportes no aquecimento global. Desde 2017, o eBus 100% elétrico do laboratório Fotovoltaica UFSC opera em Florianópolis, associado a um sistema fotovoltaico e um sistema de armazenamento de energia com baterias (BESS) de segunda vida. O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade econômica do sistema do eBus em relação a um ônibus a diesel. Para isso, foram definidos cenários com e sem BESS, com diferentes tempos de vida útil para os ônibus, e analisadas 3 taxas mínimas de atratividade. O melhor resultado mostrou um Valor Presente Líquido (VPL) positivo de R\$ 776.936,30, uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 19,56%, e um payback descontado de 4 anos e 11 meses. Por fim, foi realizada uma análise de sensibilidade para avaliar a variação nos indicadores financeiros ao alterar aspectos chave como o custo inicial do ônibus elétrico, o preço do diesel e o preço do BESS. Os resultados da análise de sensibilidade evidenciaram que o sistema de ônibus elétrico associado a energia solar é viável economicamente e, no melhor cenário, o tempo de retorno do investimento é de pouco mais de 2 anos com uma TIR de 58,53%. De forma geral, o BESS não representou um investimento interessante nas condições de contorno estabelecidas, pois mesmo considerando a redução no custo inicial do sistema este não resultou em melhoras significativas nos indicadores comparado aos outros cenários.*

Palavras-chave: *Ônibus elétrico. Armazenamento de energia em baterias. Viabilidade econômica.*

1. INTRODUÇÃO

As vantagens da substituição de ônibus a diesel por ônibus elétricos vão além da redução de emissões de GEE. Ônibus elétricos também emitem menos ruídos, gases poluentes nocivos à saúde humana, e podem ser associados a fontes de energia renovável, como a energia solar, o que contribui para a diversificação da matriz elétrica nacional. Porém, existem ainda algumas barreiras para a adoção desta tecnologia em maior escala, como o elevado investimento inicial pelo uso de baterias e de sua infraestrutura de recarga (EPE, 2020).

Dentre as iniciativas pioneiras de eletrificação de ônibus no país, foi inaugurado em 2016 o eBus do laboratório Fotovoltaica UFSC. Toda a energia utilizada para carregar o veículo é produzida pelos painéis fotovoltaicos (FV) instalados na estrutura do laboratório e, em 2021, foi instalado um banco de baterias (BESS) de segunda vida de veículos elétricos, para armazenamento da energia excedente FV produzida durante o dia e uso para suprir a demanda energética do carregamento do ônibus em horário de ponta. O eBus, além de atender a comunidade com os trajetos gratuitos, ajuda a analisar a viabilidade da mobilidade elétrica nas cidades (UFSC Fotovoltaica, 2021; Mattes, 2019).

Apesar das barreiras dos sistemas de ônibus elétricos, projetos estão surgindo em municípios brasileiros, uma vez que sua adoção gera relevante impacto social e ambiental. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade econômica da substituição da tecnologia de ônibus a diesel por ônibus elétrico associado a energia solar, considerando as condições de operação do eBus do laboratório Fotovoltaica UFSC, ônibus 100% elétrico que opera associado a um sistema FV em Florianópolis desde 2017. Para isso, são avaliados indicadores financeiros para quatro cenários iniciais e realizada uma análise de sensibilidade de acordo com a variação de alguns dos parâmetros.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho consiste em realizar uma análise econômica comparativa entre a tecnologia de um veículo a diesel convencional e um veículo 100% elétrico à bateria associado a energia solar e com sistema de armazenamento de energia. Primeiramente foi necessário estudar o sistema existente do Laboratório Fotovoltaica UFSC, para entender as características do ônibus elétrico, sistemas FV, geração e consumo energético associado. A Fig. 1 mostra o eBus no canto inferior esquerdo e os sistemas FV do laboratório. O sistema do canto superior direito, do Bloco A, possui 66,15 kWp e foi o utilizado para os cálculos desde trabalho.



Figura 1 - EBus e sistemas FV do laboratório FV UFSC

Em seguida, foram levantados dados necessários referentes aos custos iniciais dos ônibus e infraestruturas atualizados para o ano de 2021, assim como taxas, custos de operação e manutenção das tecnologias. Além disso, foram levantados dados históricos e atuais do setor de transportes brasileiro, com o objetivo de realizar projeções de cenários futuros nacionais para parâmetros relevantes da análise econômica.

Para avaliar a viabilidade econômica do ônibus elétrico comparado ao a diesel, considerou-se a diferença entre os custos e receitas das tecnologias para montar um fluxo de caixa para cada um dos cenários avaliados. Dessa forma, as entradas e saídas dos fluxos de caixa resultantes são referentes a estas diferenças anuais de custos, simulando uma substituição das tecnologias. Quanto aos métodos de análise de viabilidade de investimento, os indicadores utilizados foram o Valor Presente Líquido (VPL), o Tempo de Retorno do Investimento (Payback descontado) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

2.1 Condições de contorno e premissas utilizadas

Para desenvolver o estudo, foram considerados vários aspectos do cenário de operação do eBus. Com o objetivo de realizar uma análise realista, foram adotadas premissas para a avaliação, dentre elas:

- O trajeto e eficiência do ônibus elétrico é equivalente ao realizado pelo eBus que realiza diariamente o trajeto de cerca de 25 km entre o campus principal da UFSC (centro de Florianópolis) e laboratório Fotovoltaica UFSC (norte de Florianópolis). Soma-se assim uma distância percorrida anual de 68.640 km por ano;
- Em todos os cenários, considera-se que o ônibus elétrico é abastecido por energia comprada da rede e que o sistema FV gera energia que é injetada na rede. Esta energia injetada na rede representa uma entrada no fluxo de caixa e o preço de consumo e injeção da rede é considerado o mesmo;
- São realizadas 4 recargas por dia em horários nos quais a energia é mais barata (fora de ponta) e 1 horário no qual a energia é mais cara (ponta);
- A depreciação dos dois tipos de ônibus é de 8% ao ano e o valor do veículo depreciado no final do seu prazo de propriedade é tratado como um fluxo de caixa positivo (DALLMANN, 2019);
- Todos os cenários consideram o custo de aquisição da tecnologia e infraestrutura para o ano de 2021;
- Os valores de custos de manutenção dos ônibus, sistema FV e BESS foram ajustados anualmente de acordo com uma taxa de reajuste tarifário e inflação de 3,5% (GREENER; NEWCHARGE, 2021);
- Não são considerados cenários de financiamento ou outras medidas de incentivos nesta análise, apenas as taxas mínimas de atratividade.

2.2 Cenários avaliados

Foram considerados quatro diferentes cenários de análise, e, para cada um deles, avaliadas diferentes taxas de desconto. As variáveis analisadas foram:

Vida útil das tecnologias. Em alguns cenários foi considerado um tempo de vida útil de 10 anos para as duas tecnologias de ônibus. Esta premissa foi utilizada em estudos comparativos de diferentes tecnologias de ônibus como o feito por Dallmann para o ICCT (DALLMANN, 2019) e do MDIC (2018). Porém, os ônibus a diesel são normalmente substituídos no Brasil após aproximadamente 5 anos de uso. Ainda, estima-se que ônibus elétricos podem ser utilizados por até 15 anos. Dessa forma, definiu-se cenários com a vida útil dos ônibus a diesel de 5 anos, ou seja, com uma substituição do veículo, e o elétrico com vida útil de 10 anos.

Existência de BESS. Considerou-se o cenário de existência ou não de sistema de armazenamento de energia com baterias, que representa um custo a mais de investimento inicial do sistema, porém impacta no custo da tarifa de energia, que é considerada apenas como de horário fora de ponta. Na análise econômica inicial considerou-se um sistema com baterias novas, e na análise de sensibilidade optou-se por avaliar a diminuição deste custo considerando um sistema com baterias de segunda vida.

Taxa de desconto / TMA. Para cada um dos cenários foram avaliadas 3 diferentes Taxas Mínimas de Atratividade – 5,5%, 7% e 10%. A de 5,5% foi escolhida pois se aproxima da taxa Selic no momento que o estudo foi realizado (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2021). Já a taxa de 10% foi utilizada devido à existência de um esquema de financiamento do BNDES para ônibus elétricos, o FINEM Meio Ambiente, que possui créditos que cobrem 80-100% do custo do ônibus, duram toda a vida útil do ativo (até 34 anos) e têm uma taxa de juros de 9-11% (ICCT; C40, 2020).

Para facilitar a identificação dos cenários nos próximos tópicos deste trabalho, foram definidos códigos para identificação dos quatro principais cenários avaliados:

- **C1A: Vida útil de 10 anos para ônibus elétrico e ônibus a diesel - Sem BESS**
- **C2A: Vida útil de 10 anos para ônibus elétrico e ônibus a diesel - Com BESS**
- **C1B: Vida útil de 10 anos ônibus elétrico e 5 anos ônibus a diesel - Sem BESS**
- **C2B: Vida útil de 10 anos ônibus elétrico e 5 anos ônibus a diesel - Com BESS**

2.3 Análise de viabilidade econômica

Custos dos sistemas. Os custos dos veículos e da infraestrutura de recarga foram obtidos através do estudo do ICCT de 2019 (DALLMANN, 2019), que utilizou valores de referência da SPTrans e do CARB. Os valores foram ajustados de acordo com a variação do câmbio do dólar, uma vez que a maior parte dos componentes são importados. O preço da infraestrutura de recarga considerado na análise foi uma fração proporcional à quantidade de horas que o ônibus a utiliza, pensando que em um cenário mais realista outros veículos também usufruiriam da estrutura. Os valores de referência utilizados para manutenção dos veículos são de 0,58 e 0,77 reais por quilômetro rodado para o ônibus elétrico e a diesel, respectivamente. A origem do valor utilizado para o ônibus elétrico é o banco de dados do CARB de 2016 (apud MDIC, 2018) e do a diesel é o relatório de avaliação tarifária do SPTrans de 2018 (apud MDIC, 2018).

Para este trabalho, considerou-se a construção de um sistema FV do mesmo tamanho e com as mesmas características de orientação e inclinação ao do Edifício A do laboratório Fotovoltaica-UFSC, de 66,15 kWp, localizado em Florianópolis-SC. Para calcular o custo do sistema, foram utilizados valores médios de custos de sistema FV por kWp para o consumidor final divulgados pela Greener em julho de 2021, de 3,842 reais por Wp. O valor de investimento inicial utilizado para o sistema do BESS foi de 4,00 reais por Wh, equivalente ao de um sistema com baterias de íons de lítio novas, de acordo com um relatório da Greener (GREENER; NEWCHARGE, 2021).

Quanto ao custo de manutenção do sistema FV, considerou-se 1% do valor total de investimento inicial do sistema no primeiro ano, o mesmo valor adotado em outros trabalhos de pesquisa em viabilidade econômica de sistemas FV no Brasil (SCHNEIDER; SORGATO; RÜTHER, 2018). Já, o custo de manutenção do sistema de BESS é considerado 0,5% ao ano, de acordo com o estudo estratégico de mercado de armazenamento de energia da Greener (GREENER; NEWCHARGE, 2021). Todos os custos de manutenção foram ajustados com uma taxa de reajuste tarifário e inflação de 3,5% ao ano.

Foram considerados como custos de operação os custos com abastecimento dos ônibus – diesel e energia. Outros custos como salário dos motoristas e entradas referentes a ticket de passagem foram desconsiderados, uma vez que o objetivo deste trabalho é a comparação entre as tecnologias.

Análise de sensibilidade. Na análise de sensibilidade foi analisado o efeito das reduções de preço projetadas para um ônibus elétrico em relação a um ônibus a diesel, da variação do custo do óleo diesel e da diminuição do custo do BESS. As análises iniciais deste estudo consideraram os valores dos veículos de acordo com Dallmann (2019), com o valor do ônibus elétrico sendo 1,75x o valor do ônibus a diesel. Na análise de sensibilidade considerou-se esta relação como sendo de 1,3x o valor do ônibus a diesel e uma alternativa onde as duas tecnologias custam o mesmo valor.

Inicialmente neste trabalho, foi utilizado o custo de diesel para o consumidor final, uma vez que, o cenário da análise é o laboratório Fotovoltaica UFSC, e não é considerada uma frota específica ou escala. Porém, o valor pago por concessionárias pode variar de acordo com o volume de diesel comprado, e, segundo estudo da EPE (EPE, 2020), o preço pago por elas pelo óleo diesel aproxima-se do preço de distribuição nacional. Dessa forma, na análise de sensibilidade considerou-se o cenário alternativo com o diesel mais barato, com o valor de distribuição com dados da série histórica divulgada pela ANP (ANP, 2021).

Outro aspecto estudado na análise de sensibilidade é o efeito da diminuição do custo do BESS nos indicadores financeiros. Considerou-se o custo total do sistema sendo 35% do valor utilizado inicialmente, cenário que simula a utilização de um sistema com baterias de segunda vida.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados da análise econômica inicial

Os principais resultados de VPL, TIR e Payback descontado (em anos) decorrentes da análise econômica inicial, considerando os quatro cenários – C1A, C2A, C1B e C2B, e as taxas de desconto de 5,5%, 7% e 10%, estão resumidos na matriz da Tab. 1.

Todos os cenários analisados mostraram ao longo do período de análise um VPL positivo. A alternativa mais promissora, ou seja, com melhor desempenho nas análises de indicadores econômicos, é a do cenário C1B, uma vez que apresenta um VPL positivo de R\$776.936,30 com a TMA de 5,5 %, referente ao valor mínimo de rendimento do investimento considerado atrativo. Além disso, o cenário teria como resultado uma TIR de 19,56 %, e um payback descontado de aproximadamente 4 anos e 11 meses.

Tabela 1 - Matriz com principais resultados da análise inicial

		SEM BESS				COM BESS			
VIDA ÚTIL IGUAL	CENÁRIO C1A				CENÁRIO C2A				
	Sem BESS - vida útil 10 anos ambas tecnologias				Com BESS - vida útil 10 anos ambas tecnologias				
	TMA	VPL	TIR	Payback descontado	TMA	VPL	TIR	Payback descontado	
	5,5%	R\$ 678.005,87	17,28%	6 anos e 2 meses	5,5%	R\$ 528.569,31	12,82%	7 anos e 6 meses	
	7,0%	R\$ 555.070,18	17,28%	6 anos e 6 meses	7,0%	R\$ 395.032,80	12,82%	8 anos	
10,0%	R\$ 348.285,68	17,28%	7 anos e 4 meses	10,0%	R\$ 170.296,36	12,82%	9 anos e 2 meses		
VIDA ÚTIL DIFERENTE	CENÁRIO C1B				CENÁRIO C2B				
	Sem BESS - vida útil 5 anos diesel e 10 anos elétrico				Com BESS - vida útil 5 anos diesel e 10 anos elétrico				
	TMA	VPL	TIR	Payback descontado	TMA	VPL	TIR	Payback descontado	
	5,5%	R\$ 776.936,30	19,56%	4 anos e 11 meses	5,5%	R\$ 627.499,73	14,54%	6 anos e 3 meses	
	7,0%	R\$ 653.649,70	19,56%	5 anos e 1 mês	7,0%	R\$ 493.612,32	14,54%	6 anos e 8 meses	
10,0%	R\$ 443.963,27	19,56%	5 anos e 10 meses	10,0%	R\$ 265.973,95	14,54%	7 anos e 9 meses		

Os gráficos representados na Fig. 2 e Fig. 3 apresentam os resultados de VPL e TIR, respectivamente. Através dos gráficos pode-se observar que os valores para o cenário mais atrativo, C1B, possuem destaque positivo quando comparados aos outros cenários.

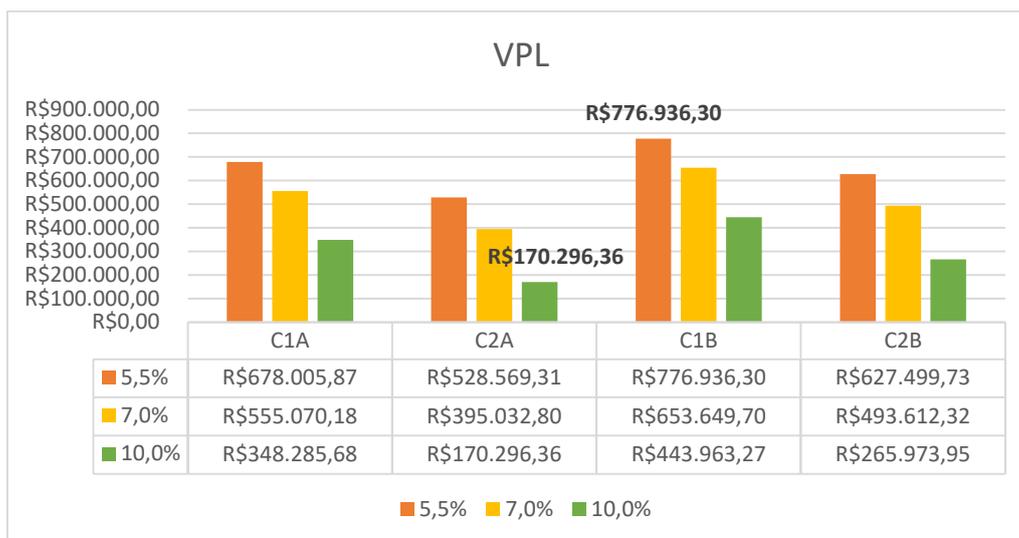


Figura 2 - Resultados de VPL para os cenários avaliados na análise inicial.

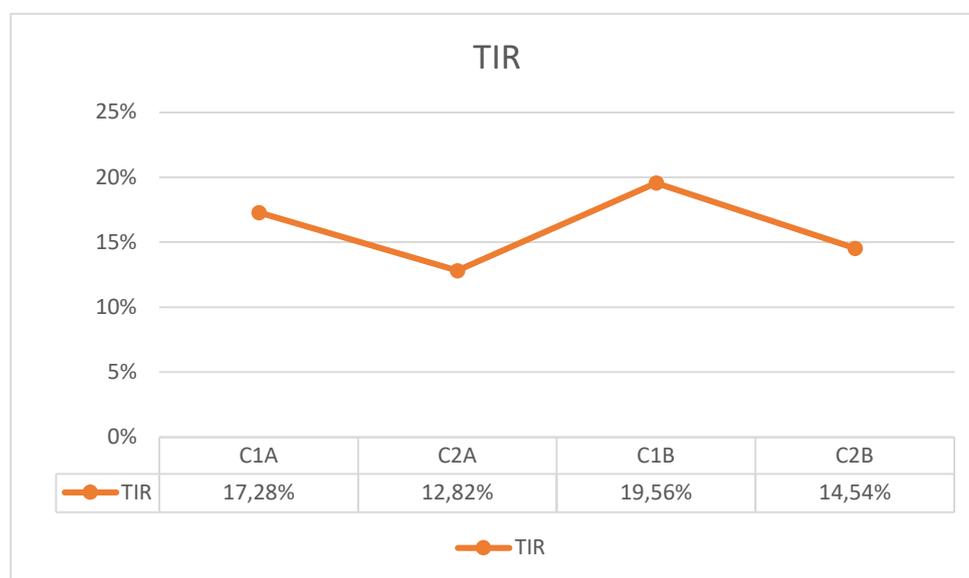


Figura 3 - Resultados de TIR para os cenários avaliados na análise inicial.

O cenário que mostrou o resultado menos interessante economicamente é o cenário C2A, considerando a TMA de 10%. Neste cenário, o investimento geraria um retorno financeiro, VPL, de R\$ 170.296,36, com uma TIR de 12,82% e levaria mais de 9 anos para gerar lucro, sendo que o ciclo de projeto é de 10 anos. Para que um investimento seja considerado viável, o valor da TIR deve ser superior ao valor da TMA, é necessário que o VPL seja positivo e, também, que o tempo de retorno (payback descontado) do investimento seja inferior horizonte de projeto, neste caso, equivalente a 10 anos.

De forma geral, as alternativas menos lucrativas foram as que consideraram a utilização do BESS. Este resultado é decorrente de um custo ainda consideravelmente alto com investimento inicial do sistema. Um dos fatores que gerou este alto investimento foi ter considerado um custo inicial de aquisição de um sistema com baterias novas, ao invés de baterias de segunda vida, como idealizado inicialmente. Esta escolha foi feita porque sistemas com baterias de segunda vida ainda não possuem um mercado e custos de implementação bem estabelecidos. Além disso, estes projetos ainda estão, em grande parte dos sistemas operantes, em fase de projeto piloto para testes de desempenho.

3.2 Resultados da análise de sensibilidade

Análise de sensibilidade do custo do ônibus e custo do diesel. A análise de sensibilidade permitiu identificar a variação resultante nos indicadores financeiros a partir da alteração de parâmetros utilizados do estudo de viabilidade econômica das alternativas. A Tab. 2 mostra os resultados referentes aos cenários C1B e C2A, que foram os mais e menos atrativos para estas análises, respectivamente, assim como na análise inicial.

Tabela 2 - Resultados da análise de sensibilidade do custo do ônibus e do diesel

Parâmetros iniciais		Valores escolhidos para análise de sensibilidade		
		Ônibus elétrico -> 1,3x ônibus a diesel	Ônibus elétrico -> 1x ônibus a diesel	Diesel custo distribuição
Custo ônibus elétrico -> 1,75x ônibus a diesel	R\$ 1.338.901,26	R\$ 994.612,11	R\$ 765.086,24	-
Custo Diesel consumidor final (média das médias anuais - R\$/L)	R\$ 5,55	-	-	R\$ 4,93
INDICADORES FINANCEIROS C1B				
TMA 5,5%				
VPL	R\$ 776.936,30	R\$ 1.033.671,25	R\$ 1.204.827,71	R\$ 622.489,15
TIR	19,56%	34,06%	58,53%	17,07%
Payback descontado	4,91	3,75	2,12	5,36
TMA 7%				
VPL	R\$ 653.649,70	R\$ 921.912,56	R\$ 1.100.754,29	R\$ 510.660,87
TIR	19,56%	34,06%	58,53%	17,07%
Payback descontado	5,08	3,88	2,17	5,74
TMA 10%				
VPL	R\$ 443.963,27	R\$ 730.592,41	R\$ 921.678,31	R\$ 320.426,15
TIR	19,56%	34,06%	58,53%	17,07%
Payback descontado	5,80	4,07	2,27	6,63
INDICADORES FINANCEIROS C2A				
TMA 5,5%				
VPL	R\$ 528.569,31	R\$ 785.304,25	R\$ 956.460,71	R\$ 374.122,15
TIR	12,82%	20,37%	29,65%	10,79%
Payback descontado	7,53	5,30	3,81	8,36
TMA 7%				
VPL	R\$ 395.032,80	R\$ 663.295,66	R\$ 842.137,38	R\$ 252.043,97
TIR	12,82%	20,37%	29,65%	10,79%
Payback descontado	8,02	5,55	3,95	8,96
TMA 10%				
VPL	R\$ 170.296,36	R\$ 456.925,50	R\$ 648.011,40	R\$ 46.759,24
TIR	12,82%	20,37%	29,65%	10,79%
Payback descontado	9,14	6,14	4,25	9,75

No cenário C1B, ao considerar a TMA como 5,5%, os resultados continuaram sendo os mais atrativos. Mesmo quando é considerada uma redução no custo do diesel ao custo de distribuição a TIR resultante é de 17,07% e o payback descontado é de 5 anos e 2 meses. No cenário que considera o custo inicial do ônibus elétrico equivalente ao custo do a diesel o resultado é o que mostra o retorno mais rápido do investimento e chega a uma TIR de 58,53%.

A Fig. 4 mostra graficamente os resultados de VPL, TIR e Payback descontado para o cenário C1B com a TMA de 5,5%. No gráfico, pode-se observar o impacto da variação de cada parâmetro nos indicadores, como o aumento de 55% do VPL no caso mais promissor.

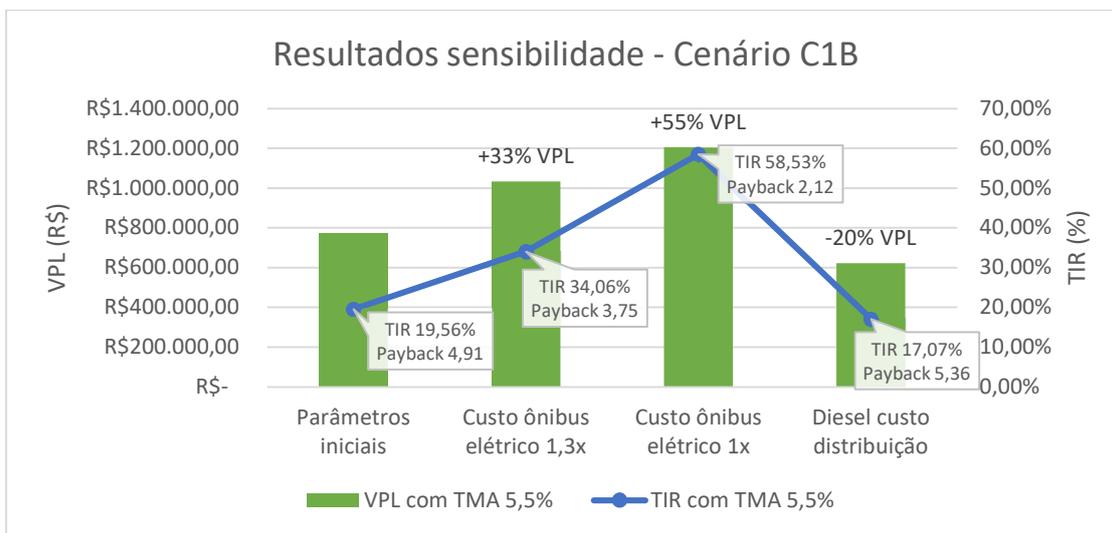


Figura 4 - Gráfico com resultados da análise de sensibilidade do cenário C1B com TMA de 5,5%

Já a Fig. 5 mostra os resultados de forma gráfica para o cenário menos promissor, o C2A com a TMA de 10%. Neste cenário, apesar de a TIR ainda ser maior do que a TMA, o payback descontado, que na análise inicial era de 9 anos e 2 meses, passa para 9 anos e 9 meses no período de 10 anos de projeto, evidenciando um investimento pouco atrativo.

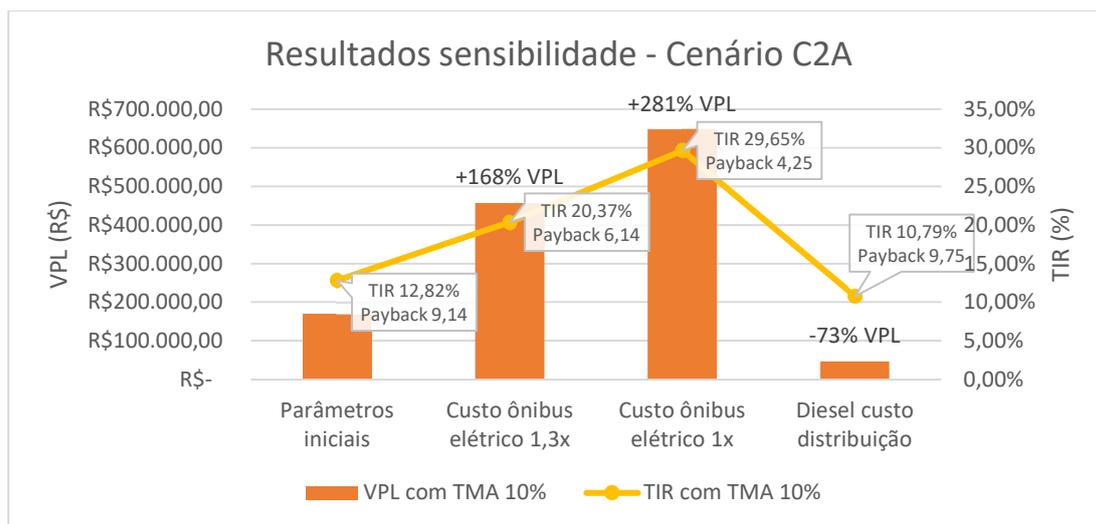


Figura 5 - Gráfico com resultados da análise de sensibilidade do cenário C2A com TMA de 10%

Alguns resultados gerais da análise inicial se confirmaram com a análise de sensibilidade, como a identificação do cenário C1B como mais atrativo e o C2A menos interessante. Ainda, a TIR de todos os cenários foi acima da TMA estabelecida, representando um indicativo de que o investimento é viável, porém, os resultados de VPL e Payback descontado mostram que em alguns casos o investimento demora muito para se pagar ou não representa uma diferença de lucro significativa ao final do período analisado.

A escolha dos parâmetros da análise financeira pode modificar significativamente a atratividade econômico-financeira do investimento. Os resultados dispostos na Tab. 2 mostram que enquanto a variação do custo do diesel influenciou na redução de aproximadamente 2% na TIR, o valor de custo inicial da tecnologia de ônibus elétricos provocou um aumento considerável na TIR. Para o cenário C1B, que resulta em um maior VPL e que considera que o ônibus elétrico custa o mesmo que o a diesel, o aumento resultante da TIR foi de 38,97%.

Análise de sensibilidade do custo do BESS. Outro aspecto avaliado na análise de sensibilidade foi a variação do custo inicial do BESS, que, na análise inicial era R\$ 4,00 por Wh. O valor considerado na análise foi de 35% deste custo inicial, considerando um banco de baterias de segunda vida ao invés de baterias novas. Esta análise gerou resultados nos cenários C2A e C2B, que consideram o uso do BESS, e estão representados na Tab. 3.

Tabela 3 - Resultados da análise de sensibilidade do custo do BESS

Parâmetros iniciais		Valor escolhido para análise de sensibilidade
		BESS -> 35%
Custo BESS 35% do custo inicial	R\$ 288.000,00	R\$ 100.800,00
INDICADORES FINANCEIROS C2A		
TMA 5,5%		
VPL	R\$ 528.569,31	R\$ 723.921,51
TIR	12,82%	16,88%
Payback descontado	7,53	6,28
TMA 7%		
VPL	R\$ 395.032,80	R\$ 589.798,97
TIR	12,82%	16,88%
Payback descontado	8,02	6,63
TMA 10%		
VPL	R\$ 170.296,36	R\$ 364.064,97
TIR	12,82%	16,88%
Payback descontado	9,14	7,47
INDICADORES FINANCEIROS C2B		
TMA 5,5%		
VPL	R\$ 627.499,73	R\$ 822.851,94
TIR	14,54%	18,92%
Payback descontado	6,24	5,00
TMA 7%		
VPL	R\$ 493.612,32	R\$ 688.378,50
TIR	14,54%	18,92%
Payback descontado	6,67	5,32
TMA 10%		
VPL	R\$ 265.973,95	R\$ 459.742,55
TIR	14,54%	18,92%
Payback descontado	7,75	6,06

Observa-se que os indicadores tiveram uma melhora considerável e que o investimento se torna mais atrativo, principalmente o cenário C2B. Porém, mesmo reduzindo consideravelmente o custo inicial do sistema, o cenário C1B, que não considera o BESS, ainda tem resultados mais atrativos, como mostra a Tab. 4.

Tabela 4 - Resultados do melhor cenário (C1B) e do cenário C2B com BESS em 35% do custo

CENÁRIO C1B				CENÁRIO C2B			
Sem BESS - vida útil 5 anos diesel e 10 anos elétrico				Com BESS - vida útil 5 anos diesel e 10 anos elétrico			
TMA	VPL	TIR	Payback descontado	TMA	VPL	TIR	Payback descontado
5,5%	R\$ 776.936,30	19,56%	4,91	5,5%	R\$ 822.851,94	18,92%	5,00
7,0%	R\$ 653.649,70	19,56%	5,08	7,0%	R\$ 688.378,50	18,92%	5,32
10,0%	R\$ 443.963,27	19,56%	5,80	10,0%	R\$ 459.742,55	18,92%	6,06

4. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade econômica do sistema do eBus do laboratório Fotovoltaica UFSC. Ao longo do desenvolvimento do estudo, optou-se por utilizar parâmetros do sistema existente do laboratório, localizado em Florianópolis – SC como condições de contorno, porém a metodologia de análise foi definida de forma que fosse possível ser replicada em outros locais. Além disso, foram avaliados diferentes cenários e a variação de aspectos da análise, para verificar a influência destes componentes no projeto.

Para todos os quatro cenários iniciais e cenários resultantes da análise de sensibilidade, o VPL resultante foi positivo e a TIR foi maior do que a TMA. O cenário C1B apresentou resultados mais atrativos do que os outros cenários, o tempo de retorno do investimento chega a ser de pouco mais de 2 anos com uma TIR de 58,53%, enquanto o cenário C2A mostrou resultados menos atrativos, com um tempo de retorno de 9 anos e 9 meses no cenário menos promissor. As alternativas considerando o BESS foram menos lucrativas no geral, devido ao alto custo inicial para sua aquisição com baterias novas.

A implementação do BESS com baterias de segunda vida foi verificada na análise de sensibilidade, considerando um valor inicial reduzido de aquisição do sistema, porém, ainda não mostrou um cenário atrativo dentro das condições de contorno desse estudo. Deve-se levar em consideração que dentre as condições estabelecidas está a dinâmica de abastecimento do eBus, ou seja, 4 abastecimentos diários em horários fora de ponta, e 1 abastecimento em horário de ponta. O custo em horário de ponta pago pelo laboratório chega a ser quase 400% maior em horário de ponta comparado a fora de ponta. Desta forma, a variação destes parâmetros pode tornar os cenários com o BESS mais atrativos, caso a dinâmica de recarga seja predominantemente noturna. A viabilidade econômica da implementação de um BESS associado a ônibus elétricos alimentados por energia FV ainda necessita de maiores estudos, verificando diferentes contextos.

Além de os resultados gerais do estudo indicarem viabilidade do sistema, principalmente no contexto do cenário C1B, observa-se a construção de um cenário favorável para a implementação de cada vez mais ônibus elétricos nos sistemas de transporte público das cidades, uma vez que as vantagens socioambientais desta tecnologia representam um argumento relevante para justificar investimentos públicos no setor.

Os resultados no geral e, mais especificamente considerando a análise de sensibilidade com o custo de aquisição do ônibus elétrico equivalente ao do ônibus a diesel, evidenciam que incentivos financeiros e garantias governamentais podem gerar competitividade para a transição da mobilidade urbana, e, assim, promover a ampla adoção da tecnologia de veículos elétricos no médio prazo.

Agradecimentos

Agradecimentos à New Charge e Greener por acesso ao Estudo Estratégico Mercado de Armazenamento e ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, pelo recurso financeiro que possibilitou a construção e operação do eBus da UFSC.

REFERÊNCIAS

- ALECRIM, P. E. Os caminhões e ônibus que fazem o Brasil avançar em veículos elétricos. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/490223/caminhoes-onibus-eletrico-brasil-mercedes-benz-volkswagen/>>. Acesso em: ago. 2021.
- ANP. Série histórica do levantamento de preços. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/levantamento-de-precos/serie-historica-levantamento-precos>>. Acesso em: ago. 2021.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. Taxas de juros básicas – Histórico. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>>. Acesso em: ago. 2021.
- DALLMANN, T, 2019. Benefícios de Tecnologias de Ônibus em Termos de Emissões de Poluentes do Ar e do Clima em São Paulo. p. 50.
- EPE, 2020. Avaliação técnico-econômica de ônibus elétrico no Brasil. Nota Técnica Epe/Dea-Dpg/See-Sdb/001/2020., p. 1–45.
- GREENER, 2021. Estudo Estratégico Mercado de Armazenamento. p. 95. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/produto/estudo-estrategico-do-mercado-de-armazenamento-de-energia-no-brasil-2021/>>. Acesso em: ago. 2021.
- ICCT; C40, 2020. Investing in electric bus deployment in Latin America: Overview of opportunity.
- MATTES, P, 2019. Performance of a Solar powered electric Bus. May.
- MDIC, 2018. Avaliação Internacional de Políticas Públicas para Eletromobilidade em Frotas Urbanas. Disponível em: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_Brazil-Electromobility-PT-20122018.pdf>. Acesso em: ago. 2021.
- MILLER, J.; POSADA, F, 2019. Norma PROCONVE P-8 de emissões no Brasil. ICCT - The International Council on Clean Transportation, n. Fevereiro, p. 1–8.
- SCHNEIDER, K.; SORGATO, M. J.; RÜTHER, R, 2018. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de módulos fotovoltaicos (FV) de telureto de cádmio (cdte). VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril.

UFSC FOTOVOLTAICA. Ônibus elétrico. Disponível em:
<<https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/fotov/blog/2017/04/24/onibus-eletrico/>>. Acesso em: jul. 2021.

ECONOMIC VIABILITY STUDY OF THE UFSC EBUS: ELECTRIC BUS ASSOCIATED WITH SOLAR ENERGY AND ENERGY STORAGE WITH SECOND LIFE BATTERIES

Abstract. *Cities around the world, including Brazilian cities, are investing in electric mobility systems, aiming to reduce the impact of the transport sector on global warming. Since 2017, the 100% electric eBus from laboratory Fotovoltaica UFSC has been operating in Florianópolis, associated with a photovoltaic system, and an energy storage system (BESS) with second-life batteries is being implemented. The goal of this work is to evaluate the economic viability of the eBus system compared to a diesel bus. In order to achieve this goal, scenarios were defined - with and without BESS and with different useful life period for the technologies, and 3 discount rates were analyzed. The best result showed a positive NPV of R\$776,936.30, an IRR of 19.56%, and a payback period of 4 years and 11 months. Finally, a sensitivity analysis was performed to assess the variation in financial indicators when changing key aspects such as the initial cost of the electric bus, diesel price and BESS price. The results of the sensitivity analysis showed that the electric bus system associated with solar energy is economically viable and, in the best scenario, the payback time is just over 2 years with an IRR of 58.53%. In general, BESS did not represent an interesting investment in these established boundary conditions, as even considering the reduction in the initial cost of the system, this did not result in significant improvements in the indicators compared to other scenarios.*

Key words: *Electric bus. Battery energy storage system. Economic viability.*