

COMPARAÇÃO DE DIFERENTES CONCEITOS DE CONSUMIDOR/PRODUTOR, FOTOVOLTAICO, COM ARMAZENAMENTO, USANDO UM MODELO DE INTEGRAÇÃO NA REDE**Joyce A.¹, Karl Moosdorf²**¹Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG),² Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico (APESF)E-mail: antonio.joyce@lneg.pt<https://doi.org/10.34637/cies2020.1.2051>**RESUMO**

Um modelo de integração na rede elétrica de diferentes consumidores/produtores fotovoltaicos (*Prosumer*), com e sem armazenamento, foi desenvolvido com o objetivo de comparar diferentes opções em termos de modelos de negócio. O modelo considera os conceitos *Prosumer* básicos identificados no âmbito do projeto europeu *PV Prosumers for Grid*. Dados anuais, hora a hora, de irradiância solar e de temperatura ambiente, bem como diferentes perfis de carga são fornecidos ao modelo, que consiste basicamente na integração na rede elétrica (trifásica) dos diferentes conceitos PV *Prosumer*. O armazenamento é considerado e os resultados são expressos, quer em termos de balanço de energia produzida, consumida e entregue à rede, quer em termos de benefícios económicos dos diferentes conceitos. O modelo foi desenvolvido na plataforma *MatLab Simulink*. Conclui-se que os conceitos de *Prosumers* agregados em sistemas coletivos, como os condomínios ou redes fechadas têm um melhor desempenho do que o conceito de consumidor/produtor individualizado e que a presença do armazenamento beneficia, pelo contrário este conceito.

O presente artigo descreve o modelo desenvolvido e mostra os principais resultados que podem ser obtidos a partir desta ferramenta de simulação.

PALAVRAS CHAVE: Modelo de simulação PV, conceitos *Prosumer*, Modelos de negócio, políticas de Energia Distribuída.

ABSTRACT

A grid integration model of Photovoltaic (PV) *Prosumer* concepts with and without storage, was developed in order to compare different options in terms of business models. The model considers the basic *Prosumer* Concepts identified in the framework of the European project *PV Prosumers for Grid*. Annual hourly data from Solar Irradiance and Ambient Temperature as well as different load profiles are feed to the model consisting basically in a 3 phase AC integration of the different PV *Prosumer* concepts. Storage is considered and the results are expressed both in terms of the energy prosumed and delivered to the grid, as well as on the economic benefits of each PV *Prosumer* concept. The model was developed under *MatLab Simulink*. It can be concluded that the collective use of PV or district power models concepts behave better related to the single direct use (behind the meter) *prosumer* concept in terms of prosumed energy and that the presence of storage, on the other way, benefits the single *prosumer* concept.

The present paper describes the developed model and shows the main results that can be obtained from this simulation tool.

KEYWORDS: PV simulation model, *Prosumer* concepts, Business models, Distributed energy policies.

INTRODUÇÃO

Os *Prosumers* fotovoltaicos (PV) estão a começar a desempenhar um papel importante na geração distribuída de eletricidade. Por um lado, as principais características dos sistemas Fotovoltaicos, nomeadamente a sua modularidade, baixo peso, ausência de emissões e de ruído durante a sua vida útil, juntamente com seu baixo custo, e, por outro lado, a tendência de aumento da introdução de sistemas de auto produção de energia elétrica utilizando renováveis, em todos os setores económicos (Residencial, Comercial, Agrícola e I) estão a dar origem ao aparecimento de diferentes conceitos para os *Prosumers* fotovoltaicos. O Projeto europeu *PV Prosumers for Grid* [1] aborda essa temática propondo conceitos inovadores e novos modelos de negócios para *Prosumers* fotovoltaicos ligados à Rede Elétrica. Nesse sentido, é importante analisar os efeitos da integração na Rede dos diferentes conceitos e o papel, quer da distribuição da carga, quer dos dispositivos de armazenamento. Juntamente com a abordagem dos temas mais técnicos também é importante para os diferentes agentes formuladores de políticas e para os Operadores dos Sistemas de Distribuição (DSOs) analisar o impacto da implementação de diferentes modelos de negócio ou de mecanismos de apoio financeiro (*feed in tariffs*, *netmetering* e outros) nos diferentes conceitos de *PV Prosumers*. O presente artigo descreve sumariamente o modelo desenvolvido e apresenta os resultados obtidos, nomeadamente em termos de comparação entre os diferentes conceitos de *PV Prosumers*, quer em termos de atingir valores elevados, do que pode ser chamado de *prosumption* (a capacidade de um consumidor produzir praticamente toda a eletricidade que consome utilizando um sistema PV integrado na rede), quer em termos de modelos de negócio e eventualmente apoiar a implementação de medidas de apoio à disseminação destes sistemas.

DESCRIÇÃO DO MODELO

O modelo consiste na integração na rede elétrica trifásica dos 3 diferentes conceitos de *Prosumers* considerados no projeto *PV Prosumers for Grid* [2] e apresentados na Figura 1.

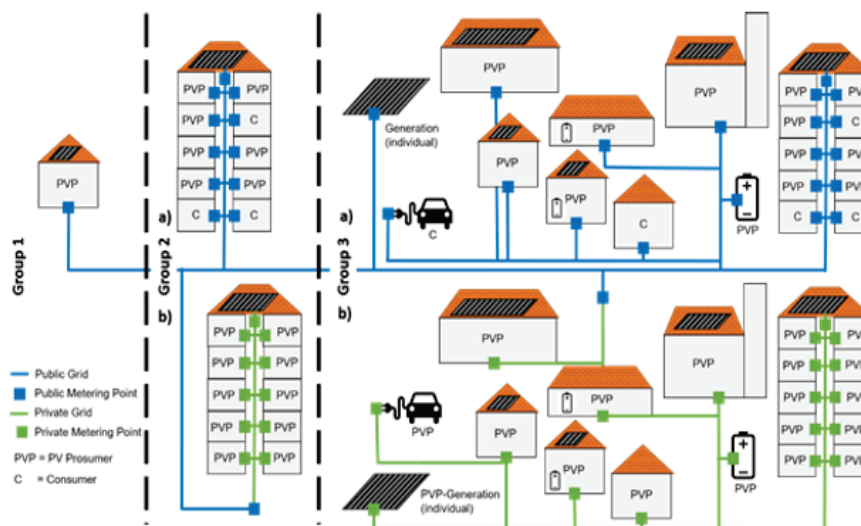


Fig. 1. Conceitos de PV Prosumers (projeto PVP4Grid)

Basicamente os conceitos são *Prosumer* individual (grupo 1), *Prosumers* em condomínio (Grupo 2) e *Prosumers* em rede fechada (Grupo 3).

O modelo foi implementado na plataforma MatLab Simulink e para cada conceito foi considerado um gerador fotovoltaico, um dispositivo de armazenamento, a carga e a integração na rede trifásica. Nos diferentes pontos de ligação, é fornecido um BUS de medição para medir tensões, correntes e potência. O fluxo de potência, nos BUSES de medição, é positivo da esquerda para a direita e negativo da direita para a esquerda. A rede geral é simulada por um gerador elétrico do tipo Swing com a capacidade global instalada na rede e por uma carga também global correspondente ao consumo global da rede elétrica ou de uma rede local.

A Figura 2 apresenta o esquema elétrico global da integração dos diferentes conceitos de *Prosumers* na rede elétrica trifásica.

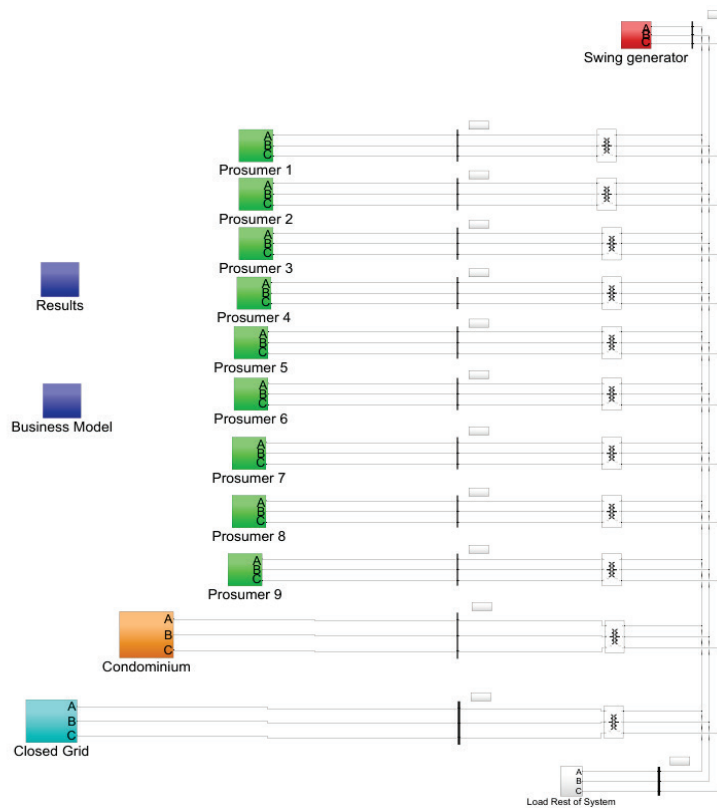


Fig. 2. Esquema elétrico dos diferentes conceitos de *Prosumers*

Para o conceito do Grupo 1, ou seja, *Prosumers* Individuais, foram considerados 9 *Prosumers*. Seis desses prosumers foram considerados *Prosumers* residenciais típicos com uma potência fotovoltaica de 1.5 kW (*Prosumers* 1 a 6), dois são *Prosumers* comerciais com um sistema fotovoltaico de 20 kW (*Prosumers* 7 e 8) e um é um *Prosumer* industrial com um sistema fotovoltaico de 200 kW (*Prosumer* 9). Cada um desses *Prosumers* individuais tem seu próprio dispositivo de armazenamento e carga individual.

Para o conceito do Grupo 2 de *Prosumer* fotovoltaico coletivo local (Condomínio), foi utilizado um sistema fotovoltaico com capacidade igual à soma das capacidades dos 9 consumidores do Grupo 1, conectado a 9 cargas independentes.

Finalmente, para o conceito do Grupo 3 correspondente a uma rede fechada foram considerados, 9 sistemas fotovoltaicos distintos, cada um com uma potência igual à do Grupo 1 que estão ligados a um armazenamento e cargas comuns.

A Figura 3 mostra cada um dos *Prosumers* do Grupo, com o seu sistema fotovoltaico, armazenamento, e cargas, ligados à rede trifásica e com os respetivos BUSes de medição. Cada BUS tem uma cor que é reproduzida nas cores da evolução da potência em cada BUS.

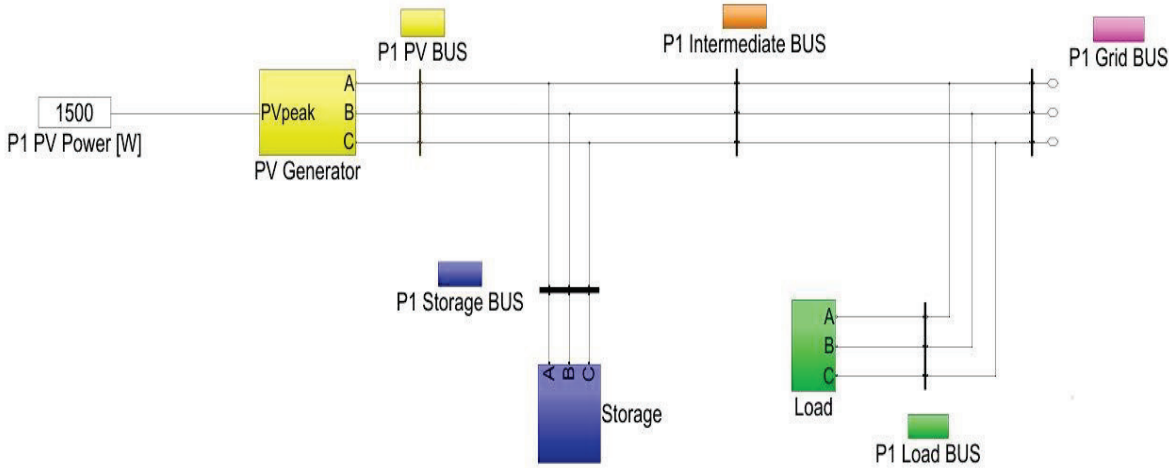


Fig. 3. Esquema de um *Prosumer* fotovoltaico individual

O gerador fotovoltaico usa os dados da irradiância solar e temperatura ambiente para calcular a Potência no Ponto de máxima potência de acordo com:

$$P_{mp} = P_{mp\ ref} \cdot \frac{G_i}{G_{i\ ref}} \left[1 + \gamma \cdot (T_{cel} - T_{ref}) \right]$$

Uma eficiência global do Inversor é utilizada para calcular a saída final do gerador PV.

Foi implementado um conversor de energia desenvolvido de acordo com [3], que converte o valor da potência num sinal de saída (corrente e tensão trifásica) que é injetado na rede trifásica. Este conversor usa fontes de corrente controladas da biblioteca do Simulink para injetar correntes na rede a uma tensão especificada. Um modo *phaser* é usado no *Simulink* para permitir um desempenho mais rápido do modelo.

Para a carga, é usado o mesmo conversor, mas com a fonte colocada no sentido oposto permitindo que o conversor funcione como um dissipador de energia. Os dados para os perfis de carga podem ser dados reais ou, como na presente análise, ser, uma carga constante ao longo das 24 horas de um dia, ou uma carga constante em fase com irradiância solar ou uma carga constante durante a noite. Esta opção, para este trabalho, destina-se a uma melhor comparação do ponto de vista gráfico das evoluções das potências nos diferentes conceitos.

Ambos os tipos de conversores (fonte e carga) são usados nos sistemas de armazenamento que permitem processos de descarga e carga controlados por um controlador simples do estado de carga da bateria (State of Charge -SOC) que permite a função de armazenamento entre um SOC de 0,2 (vazio) e 1 (completo). A capacidade inicial de armazenamento pode ser alterada e, na presente análise, foi utilizado o armazenamento inicial equivalente a um dia inteiro de carga.

A evolução da potência nos diferentes BUSes está disponível, bem como a integração desses poderes em cada etapa e no final de um ano de simulação.

Por fim, um subsistema com diferentes Modelos de Negócio pode ser utilizado para calcular e apresentar os valores da energia, produzida pelo fotovoltaico, consumida e injetada na rede, bem como a valorização económica da energia *prosumida* e injetada, de acordo com valores previamente especificados das tarifas elétricas.

Correr o presente modelo um ano inteiro a passos de hora a hora leva cerca de 1:45 min num laptop I5 Core o que permite que o modelo seja usado para simular diferentes configurações de modelo de forma conveniente e rápida.

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Nas linhas a seguir apresenta-se a evolução gráfica das medidas nos diferentes Bus (usando o mesmo código de cores da Figura 3) durante um ano inteiro e o detalhe desta evolução para uma sequência de dias em torno do meio do ano. São também apresentados, em tabela, os valores totais da energia injetada na rede para cada um dos três conceitos. A quantidade de energia total injetada na rede elétrica é uma medida de como o sistema se comporta, como sistema de auto produção, sendo um valor baixo indicador de que o sistema tem um elevado desempenho pois a maior parte da energia produzida é utilizada para satisfação da carga e pouca energia é injetada na rede (elevado nível de *prosumption*). Esta situação é em geral também positiva para a própria rede elétrica.

O modelo considera a irradiância solar e a temperatura ambiente para a região de Lisboa (dados TMY) e considera que os módulos fotovoltaicos estão virados a Sul e com uma inclinação de 30°, que é, aproximadamente, a inclinação ótima para a região de Lisboa.

Carga constante durante 24 h, sem armazenamento.

A Figura 4 mostra os resultados de um ano da simulação de um sistema sem armazenamento e com uma carga constante durante todo o ano. A Figura mostra a linha verde constante da carga, a ausência de armazenamento (linha azul a zero) e uma grande injeção na rede elétrica (curva magenta positiva).

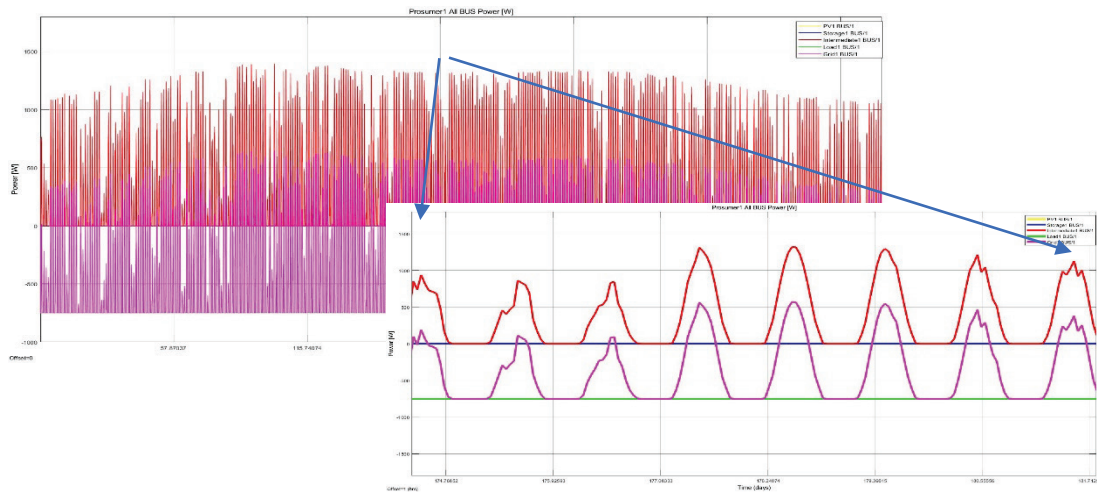


Fig. 4. Evolução durante um ano para Prosumer individual (tipo residencial) sem armazenamento

Para esta situação, a energia injetada na rede para os três conceitos de *Prosumers* pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1. Energia injetada para os três conceitos de *Prosumer* com carga constante

Grupo 1 Individual [MWh]	Grupo 2 Condomínio [MWh]	Grupo 3 Rede Fechada [MWh]
14.67	0.06789	0.06789

O pior caso é para os *Prosumers* individuais (Grupo 1) o que reflete a incapacidade de, neste conceito, haver troca, entre vizinhos de excessos de energia.

Carga constante durante 12 h em fase com irradiância solar sem armazenamento.

A Figura 5 mostra, para os mesmos dias centrais do ano, uma situação de carga constante de 12h em fase com a irradiância solar e uma carga anual total idêntica à usada na corrida anterior.

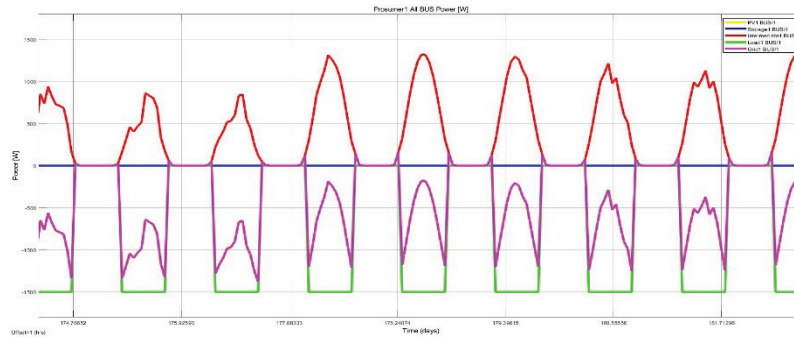


Fig. 5. Evolução durante uma sequência de dias no meio do ano para 12h de carga em fase

Pode-se ver que, devido à carga em fase, praticamente não existe injeção na rede elétrica (valor positivo da curva magenta).

Em consequência, a situação de injeção na rede para os três conceitos *Prosumer* é totalmente diferente com uma forte diminuição da energia injetada para o Grupo 1 e um aumento de energia injetada para os Grupos 2 e 3, como pode ser visto na Tabela 2. É possível ver que para uma carga constante em fase com a irradiância solar não há diferenças significativas entre os três conceitos.

Tabela 2. Energia injetada para os três conceitos *Prosumer* com carga constante em fase

Grupo 1 Individual [MWh]	Grupo 2 Condomínio [MWh]	Grupo 3 Rede Fechada [MWh]
3.129	3.116	3.116

Carga constante durante 12 h desfasada da irradiância solar sem armazenamento.

A Figura 6 mostra a simulação para os mesmos dias de uma carga constante desfasada da irradiância solar (carga constante de 12h durante a noite).

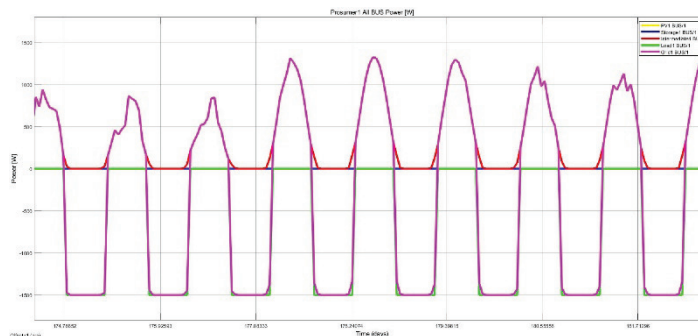


Fig. 6. Evolução durante uma sequência de dias no meio do ano para carga fora de fase

É possível ver que nesta situação praticamente toda a energia produzida pelo fotovoltaico é injetada na rede, e que, deste modo, toda a carga, é fornecida pela rede durante a noite.

A Tabela 3 apresenta os valores da energia injetada nesta situação mostrando valores iguais para os três conceitos *Prosumer* praticamente iguais ao total produzido pelo sistema fotovoltaico que foi de 421,1 MWh.

Tabela 3. Energia injetada para os três conceitos *Prosumer* com carga constante fora de fase

Grupo 1 Individual [MWh]	Grupo 2 Condomínio [MWh]	Grupo 3 Rede fechada [MWh]
418.1	418.1	418.1

Carga constante de 24 h com armazenamento.

A Figura 7 apresenta a situação de carga constante com um dia de armazenamento.

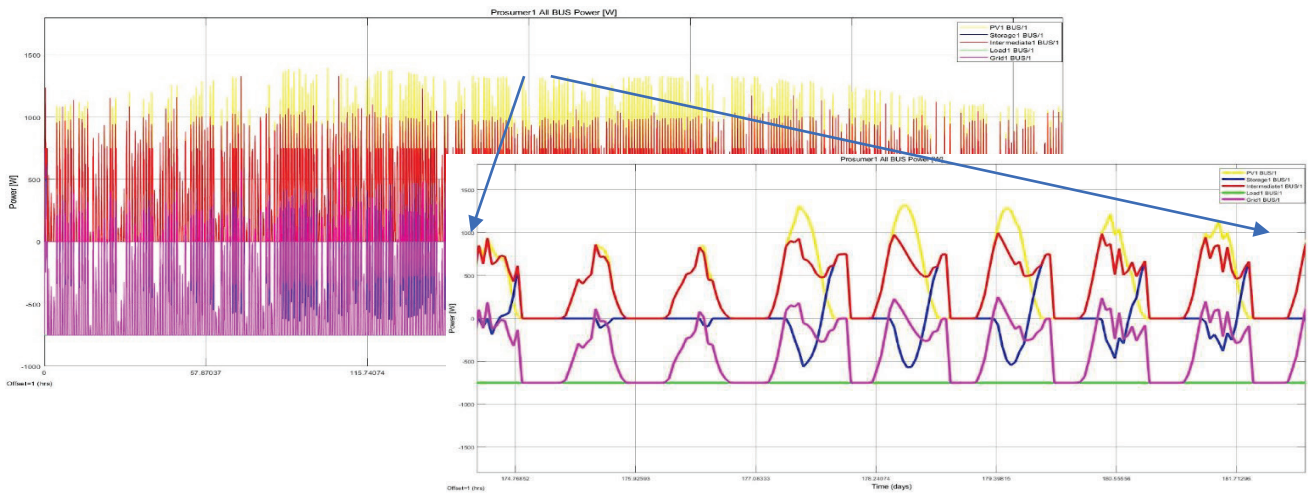


Fig. 7. Evolução durante um ano para um *Prosumer* individual com armazenamento

É visível a diferença da introdução do armazenamento, uma vez que o BUS intermediário (linha laranja) agora é diferente do BUS do gerador fotovoltaico (linha amarela).

É possível ver, comparando as Figuras 4 e 7, como o armazenamento cria uma extensão do período de energia disponível para a carga, diminuindo simultaneamente a potência máxima.

O efeito do armazenamento é melhor para o conceito do Grupo 1 que diminui substancialmente a energia injetada na rede. Os modelos 2 e 3, pelo contrário, aumentam, embora ligeiramente, a quantidade de energia injetada na rede.

Tabela 4. Energia injetada para os três conceitos Prosumer com carga e armazenamento constantes

Grupo 1 Individual [MWh]	Grupo 2 Condomínio [MWh]	Grupo 3 Rede fechada [MWh]
4.264	0.1784	0.1784

Comparação de Modelos de negócio.

O modelo possui uma componente que permite comparar diferentes modelos de negócio. Na Figura 8 pode ver-se uma saída típica desta componente usando dados de Portugal.

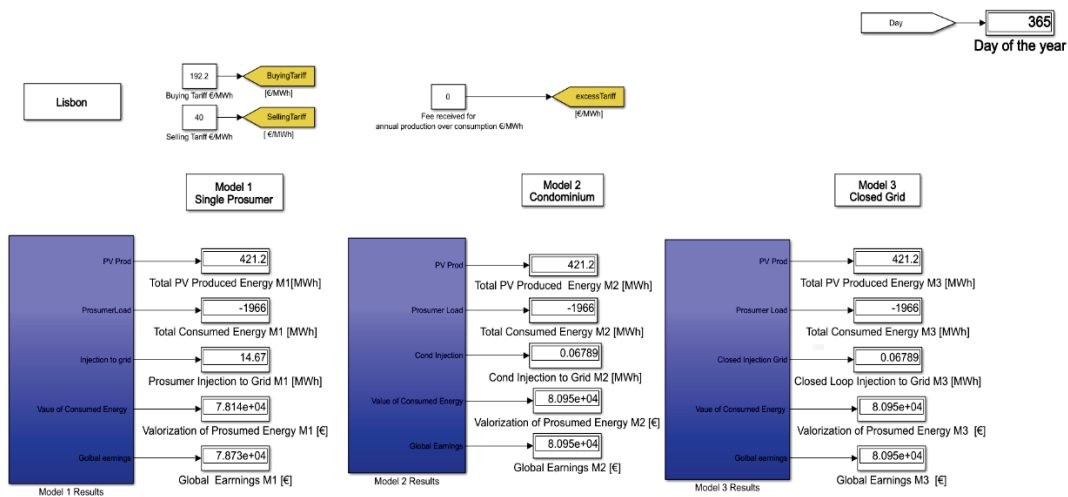


Fig. 8. – Componente comparação de modelos de negócio do modelo desenvolvido

CONCLUSÕES

O modelo apresentado permite a análise dos balanços energéticos anuais para diferentes conceitos de *Prosumers*. É possível ver a vantagem de sistemas colectivos face aos sistemas de *Prosumers* individuais.

O modelo permite também comparar modelos de negócio para os diferentes conceitos de *Prosumers*.

Se se incluir uma definição de uma rede de distribuição de energia elétrica é possível analisar a influência na rede elétrica dos diferentes modelos de *Prosumers*.

RECONHECIMENTO

O projeto PVP4Grid recebeu financiamento do programa de Investigação e Desenvolvimento Horizon 2020 da União Europeia sob o acordo de subvenção n° 764786.

REFERÊNCIAS

[1] Projeto PVP4Grid <https://www.pvp4grid.eu/>

[2] “Development of innovative self-consumption and aggregation concepts for PV Prosumers to improve grid load and increase market value of PV: the PV-Prosumers4Grid project”, Luz Alicia Aguilar, Maria Roos, Manuel Battaglia, Christian Grundner, Moira Jimeno, Dirk Hendricks, Pierre Bancourt, Dörte Fouquet, Georg Lettner, Riccardo Battisti, Karl Moosdorf, Daniela Velte, Eduardo Roman, António Joyce, Gaëtan Masson, Carlotta Cambiè, Aída González, Jose Donoso, Christoph Winter, Nicole Diewald, Ulrich Winter, Wouter Schram, Wilfried van Sark. 35th EU PVSEC 2018, 28 September 2018, Brussels.

[3] “Performing Power System Studies”, Dudgeon, G. , Brunelle, P. , MatLab Simulink Tutorial. https://www.youtube.com/watch?v=SEb_kHuKVBo