

Abordagem VISO: uma Contribuição à Socialização entre Objetos da Internet das Coisas*

Leandro Camargo¹, Ana Marilza Pernas¹, Adenauer Yamin¹

¹Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas - RS, Brasil

{leandro.camargo, marilza, adenauer}@inf.ufpel.edu.br

Abstract. *The growing interconnectivity of objects in the IoT enables them to interact, exchange information, and collaborate in new ways to accomplish collective tasks. However, this development presents several ongoing research challenges. Within this context, this article introduces the concept of Virtual Interactions between Social Objects (VISO), an approach that addresses functional requirements of an architecture designed specifically for the Social IoT, particularly the autonomous recommendation of friendships. VISO harnesses the concept of object virtualization to enable autonomous operation within the environment. Preliminary results suggest that organizing objects into communities can enhance service or friendship recommendations in a socially aware and personalized manner.*

Resumo. *A crescente conectividade dos objetos na IoT permite que eles interajam, compartilhando informações e colaborando de diversas maneiras para realizar tarefas coletivas. No entanto, isso envolve vários desafios de pesquisa ainda abertos. Neste contexto, este artigo apresenta a concepção da abordagem Virtual Interactions between Social Objects (VISO). Esta abordagem trata de aspectos funcionais que uma arquitetura voltada à Social IoT deve prover, especialmente a recomendação autônoma de amizades. A VISO explora o conceito de virtualização de objetos para uma atuação autônoma no ambiente. Resultados preliminares indicam que o agrupamento de objetos em comunidades potencializa as recomendações de serviços ou amizades, de maneira socialmente consciente e personalizada.*

1. Introdução

O Conselho Nacional de Inteligência dos EUA declarou a Internet das Coisas - do inglês *Internet of Things* (IoT) - como uma das seis tecnologias que potencialmente mais afetarão os interesses do país até 2025. Estima-se que o número de dispositivos interconectados atingirá 75 bilhões [Ouafiq et al. 2022]. Nos últimos anos, a *Social Internet of Things* (Social IoT) tem se estabelecido como um paradigma emergente na literatura. Este paradigma está relacionado à interação entre “coisas” e a Internet para satisfazer as necessidades dos usuários finais, oferecendo novas capacidades para troca de informações, comportamentos e relacionamentos, independentemente da intervenção humana [Malekshahi Rad et al. 2020].

*O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

A crescente adoção de objetos inteligentes em diversos setores da atividade humana tem promovido o desenvolvimento de aplicações que exploram a conectividade da IoT em cenários como cidades inteligentes, casas inteligentes, redes inteligentes e fábricas inteligentes, no intuito de atender demandas da sociedade moderna [Dhiman et al. 2022]. Nesse particular, vários aplicativos podem se beneficiar da construção de relações sociais entre as coisas interconectadas em rede.

Contudo, a crescente variedade de dispositivos na Social IoT, que consomem e utilizam serviços entre si, introduz uma série de desafios. Esses desafios vão desde a busca e seleção desses serviços até o estabelecimento de relações adequadas, com base em critérios definidos em uma perspectiva social. A expansão da IoT destaca a presença de sistemas heterogêneos e compromete a realização de um processo de integração sinérgica dos objetos inteligentes. Portanto, a necessidade de um modelo claro de arquitetura de referência, que permita a cooperação entre diferentes sistemas, é uma área de pesquisa que se torna cada vez mais necessária [Khelloufi et al. 2020].

Tendo em vista as motivações destacadas, o objetivo principal deste trabalho é detalhar a estrutura da abordagem VISO, a qual promove a socialização entre objetos IoT. Para isso, ela incorpora algumas funcionalidades, conforme descrito a seguir: (i) um mecanismo de recomendação autônoma de amizades entre objetos; (ii) a virtualização dos dispositivos, a fim de reduzir a heterogeneidade no ecossistema criado pela VISO, através do conceito de Objeto Virtual (OV); (iii) o ranqueamento de objetos com base na avaliação dos pares; e (iv) a identificação do perfil de cada objeto no ambiente com finalidade de garantir a fluidez da comunicação, independentemente do número de objetos ativos ou das interações estabelecidas no local.

Este artigo detalha a evolução da pesquisa realizada após a publicação de conceitos introdutórios sobre a gestão de relacionamentos entre objetos [Camargo et al. 2022]. Na primeira publicação, discute-se apenas as premissas gerais que uma arquitetura para Social IoT deveria fornecer.

O restante do artigo está estruturado da seguinte maneira: A Seção 2 revisita conceitos importantes na área da Social IoT e destaca os desafios e avanços relacionados às arquiteturas. A Seção 3 define o modelo arquitetural da VISO, detalha funcionalidades e diferenciais dos algoritmos implementados, além de destacar alguns resultados obtidos nos testes. Finalmente, a Seção 4 apresenta as contribuições científicas e os trabalhos futuros.

2. Internet das Coisas Social (SIoT)

A IoT é caracterizada pela presença de diversos dispositivos interconectados que monitoram e atuam no ambiente em que estão inseridos. Por outro lado, a SIoT avança ao ponto em que os dispositivos ganham maior liberdade para interagir uns com os outros, sem a necessidade de intervenção humana [Rajendran and Jebakumar 2021]. Isso resulta em um aprimoramento da interoperabilidade na rede, bem como na composição de novos serviços, promovidos pela interação social que ocorre entre os dispositivos. Estes estabelecem colaborações em nome de seus proprietários, baseadas em seus hábitos e interesses [Khelloufi et al. 2020].

A convergência da computação e da comunicação, focada na socialização entre as “coisas”, permite que os dispositivos de IoT explorem esse contexto social

para otimizar os serviços oferecidos e personalizar suas respostas às solicitações recebidas [Dhelim et al. 2021]. No entanto, para que essa melhoria na prestação de serviços ocorra, algumas premissas precisam ser consideradas. Entre elas, a confiança entre os objetos, a exatidão e a precisão das informações obtidas são de suma importância [Khelloufi et al. 2020].

2.1. Socialização entre Objetos

A relevância em aproveitar a capacidade de socialização dos objetos da IoT é evidenciada no crescimento da própria Internet das Coisas. Neste campo a discussão é ampliada de objetos puramente inteligentes para objetos atuantes. Se os objetos inteligentes estabelecem a comunicação com os humanos, os objetos atuantes, por sua vez, têm a capacidade de representar os interesses de seus proprietários agindo em nome deles [Zia et al. 2019]. Portanto, o desafio está em proporcionar uma estrutura, na qual os objetos dotados de algumas características de socialização possam efetivamente estabelecer as próprias relações.

À medida que os objetos entram em contato uns com os outros, os tipos de relacionamentos são configurados e modificados com base nos recursos destes objetos, por exemplo, a intensidade do sinal percebido no momento, a sua capacidade computacional e o nível da bateria disponível. Além disso, esses relacionamentos são explorados por um módulo de busca e descoberta dos serviços para a identificação daqueles objetos que atendam às demandas sem comprometer a estabilidade do ambiente [Bouazza et al. 2022]. De forma semelhante aos humanos, tais relacionamentos são estabelecidos, mantidos e encerrados, tendo como base o histórico das interações.

Neste sentido, a classificação das relações ocorre com base em diferentes critérios. De forma geral, estes critérios visam o compartilhamento do conteúdo de interesse dos objetos e a oferta de serviços automatizados, potencializando a difusão do conhecimento na Social IoT. Em síntese, a exploração plena das potencialidades dessa remodelagem no paradigma IoT carece de maiores avanços em aspectos arquiteturais que deem suporte: (i) às comunicações entre uma gama crescente de objetos; (ii) aos desenvolvedores das novas aplicações beneficiadas pela composição de serviços entre objetos, e; (iii) aos proprietários de objetos no monitoramento dos seus dados e dispositivos [Girau et al. 2016].

2.2. Soluções Arquiteturais voltadas à Social IoT

Em recente revisão sistematizada da literatura foi possível ampliar a visão geral das produções científicas focadas em funcionalidades e nas características arquiteturais das soluções IoT no domínio social [Camargo et al. 2021]. Tendo por base o recorte de 18 produções científicas identificadas naquela revisão, um estudo aprofundado mostrou que apenas quatro propuseram efetivamente uma arquitetura focada na gestão dos relacionamentos estabelecidos entre os objetos.

As pesquisas correlatas destacam que as funcionalidades-chave incorporadas para a estruturação do paradigma da Social IoT ainda requerem atenção da comunidade industrial e acadêmica. Principalmente, no enfrentamento dos obstáculos e no estímulo ao desenvolvimento de aplicativos atraentes e amplamente aceitos.

Conforme destacado, na perspectiva dos trabalhos correlatos, as diferentes frentes de pesquisa sugerem que os dispositivos inteligentes sejam primeiramente instanciados no ambiente para que, em um segundo momento, estabeleçam os relacionamentos de

forma autônoma [Camargo et al. 2021]. A virtualização dos objetos compatibiliza os dispositivos heterogêneos já existentes, com as regras de negócio e demais políticas implementadas no mecanismo de gestão dos relacionamentos de um ambiente.

3. VISO: estrutura funcional da arquitetura

Esta seção detalha as principais características estruturais da abordagem denominada *Virtual Interactions between Social Objects* (VISO) - em português, Interações Virtuais entre Objetos Sociais. A concepção da abordagem VISO baseou-se no arcabouço teórico das contribuições observadas nos trabalhos correlatos, os quais embasaram a modelagem dos requisitos básicos desta solução e à organização de um ambiente SIoT.

3.1. Virtualização de Objetos

Atualmente, os ambientes inteligentes contam com uma variedade de dispositivos heterogêneos, assim sendo, com o intuito de viabilizar a fluidez na comunicação e, consequentemente, as interações na troca de serviços ou informações, uma alternativa é a virtualização dos dispositivos inteligentes por intermédio de um *middleware*. No contexto deste trabalho, o *middleware* é um dispositivo central que mantém a identidade, as habilidades, as restrições e as qualificações, de cada objeto que interage localmente.

Neste cenário, cada objeto físico é virtualizado e recebe uma identificação atômica, no momento está associada ao *Media Access Control address* - MAC, em português, endereço de controle de acesso ao meio, que por natureza oferece um valor imutável e exclusivo. Como validação adicional de sua identificação há o cruzamento dos dados do objeto com aqueles atributos importados da nuvem do fabricante e a lista de serviços ofertados à comunidade, da mesma forma, com as tarefas que normalmente ele solicita no ambiente.

O conceito de objeto social permite que diferentes dispositivos formem relações sociais entre si dependendo tanto das regras, como das preferências definidas pelos seus proprietários, no intuito de compartilhar recursos e informações [Muhammad et al. 2023]. Considerando a existência destes condicionantes e a necessidade de sua manipulação, a Figura 1 apresenta um *software* aplicativo que integra a abordagem VISO.



Figura 1. Configurações iniciais do objeto no ambiente

O aplicativo (Figura 1) concede ao proprietário do objeto a possibilidade de atribuição das suas principais características e o ajuste de algumas condicionantes de uso. Somente após a identificação do registro de um novo objeto através desta interface, ele passa a existir de forma virtualizada no ecossistema da VISO - equivalente ao conceito de *digital twin* ou gêmeo digital em português - na prática, isso representa a criação de uma réplica virtual e completamente fiel do objeto físico.

O surgimento do gêmeo digital oferece uma oportunidade para acelerar o desenvolvimento de objetos, eliminando a validação física em direção à validação digital, de acordo com os requisitos do espaço virtual, algo mais lógico na era das coisas inteligentes [Nasirahmadi and Hensel 2022]. O modelo digital fornece todas as perspectivas relevantes da existência desse dispositivo. Esse conceito facilita a implementação de mudanças estruturais ou das políticas de relacionamento, devido à transparência inerente ao papel do *middleware*.

Como particularidades adicionais vinculadas ao objeto, além das suas funcionalidades especificadas no OV, estão as suas restrições para o estabelecimento de relações sociais, tais como: (i) número de solicitações simultâneas processadas; (ii) volume de amizades estabelecidas em uma comunidade; (iii) nível de confiança exigido em seus relacionamentos; (iv) precisão das informações fornecidas e exatidão das respostas; (v) quantidade de solicitações atendidas na comunidade.

3.2. Modelagem das Entidades Chave na Gestão dos Relacionamentos

O principal foco deste estudo é nos objetos e na capacidade de estabelecerem relações. Portanto, a Figura 2 destaca a modelagem de atividades envolvendo o Objeto e o mapeamento do fluxo de interações para o seu ingresso em um Círculo Social. A notação utilizada para esta modelagem conceitual do sistema segue as definições da técnica *Structured Analysis and Design Technique* - SADT, em português análise estruturada e técnica de projeto. A SADT é uma metodologia consolidada na área de Engenharia de Software que proporciona um maior nível de abstração na construção do modelo conceitual [Robinson 2020].

A SADT se destaca por sua abordagem semiformal e estruturada na elicitação dos requisitos do sistema [Robinson 2020]. Sendo assim, esta metodologia é especialmente útil nas fases iniciais da concepção de uma solução, já que permite uma compreensão geral do sistema e o refinamento estrutural dos problemas. Isso resulta em maior flexibilidade ao longo do processo de desenvolvimento.

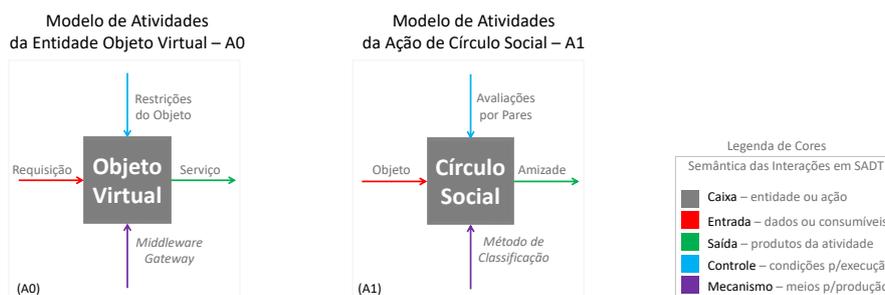


Figura 2. Modelagem das atividade referentes ao Objeto e ao Círculo Social

”Na modelagem da entidade OV, a ação se inicia com o recebimento de uma solicitação de serviço enviada ao ambiente inteligente por meio do *middleware*. Este dispositivo central medeia as interações entre os objetos, e, ao receber uma solicitação, avalia qual objeto é mais apto a responder, levando em consideração suas restrições e a situação atual da rede. O resultado dessa entidade é um serviço prestado ou uma informação entregue ao solicitante.

A modelagem da composição do Círculo Social, por outro lado, tem como entrada um objeto que recebeu uma avaliação positiva de seus pares. O resultado desta ação é uma indicação de amizade, representando a inserção do objeto na comunidade. Os recursos utilizados nesta ação incluem o histórico de avaliações realizadas pelos pares, as restrições do objeto para o volume de amizades, o limite de participação em comunidades, a qualificação mínima dos membros desse grupo e os interesses compartilhados.

A composição do Círculo Social dos objetos ocorre por meio da combinação de vários algoritmos que implementam as funcionalidades propostas na abordagem VISO, conforme detalhado na Tabela 1. Além da funcionalidade, a Tabela 1 também destaca a metodologia utilizada e uma síntese das características habilitadas por cada uma delas

Tabela 1. Características funcionais implementadas pela abordagem VISO

Funcionalidade	Metodologia	Descrição
Heterogeneidade	<i>Digital Twin</i>	Mapeia objetos físicos em seus respectivos gêmeos digitais, originando um Objeto Virtual
Segurança	Confiança Direta	Pondera a relevância do serviço prestado e o <i>feedback</i> emitido pelo objeto requerente
Classificação	ONA	Atribui um perfil ao objeto, conforme o volume de interações realizadas no local
Hierarquia	PageRank	Importância do objeto definida em razão das amizades estabelecidas nas interações

Neste sentido, a composição do Círculo Social combina todas as metodologias adotadas pelas demais funcionalidades, com intuito de facilitar as interações através do agrupamento dos objetos. As contribuições e características funcionais incorporadas pela VISO são as que seguem:

1) HETEROGENEIDADE: a dificuldade em compatibilizar diferentes objetos no ambiente para interação é suprida com a virtualização dos objetos físicos. Quando identificado pelo *middleware* o registro de um novo objeto na base de dados, ele é então virtualizado no ambiente. Na prática, isso representa a criação de uma réplica virtual e completamente fiel do objeto físico. Assim sendo, permite clonar recursos e funcionalidades disponíveis no objeto, além de estender novas capacidades.

2) SEGURANÇA: uma maneira dinâmica para implementação da confiança nas relações estabelecidas entre os dispositivos que interagem no ambiente inteligente, os quais apresentam um comportamento automatizado - sem a necessidade de interferência direta do usuário final - é formalizada na Equação 1.

$$D_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^n T F_{ij}^l F_{ij}^l}{\sum_{l=1}^n T F_{ij}^l} \quad (1)$$

A credibilidade do objeto passa ao controle realizado pelos dispositivos de borda, assim sendo, a confiança direta - D - estabelecida entre os objetos - i ; j - se dá em função do fator transacional - TF -, associado ao *feedback* - F -, que expressa a qualidade do serviço prestado por i , de acordo com a avaliação de j [Kowshalya and Valarmathi 2017].

3) CLASSIFICAÇÃO: a metodologia voltada à análise de rede social - *Organizational Network Analysis* (ONA) oferece um esquema organizacional, enquadrando os objetos em três papéis distintos, conforme a relevância das interações estabelecidas no ambiente. O nó central, por exemplo, é constituído por elementos chave na organização, através deles flui um volume expressivo de requisições. Por outro lado, um nó periférico representa um objeto com pouco engajamento, passando parte do tempo desconectado e, conseqüentemente, interagindo pouco. O nó disseminador, participa de vários grupos de objetos, com distintas habilidades.

4) HIERARQUIA: a apuração do peso de um vértice, que sugere a relevância do objeto no ambiente, ocorre com base nas informações fornecidas pelos seus pares. Este peso é obtido de forma recursiva, observando a importância dos dispositivos que estão vinculados ao objeto em análise. Seguindo o princípio que embasa o algoritmo de classificação de *links* denominado PageRank, o qual considera o valor de ranqueamento e o número de saídas das amizades de um objeto, assim sendo, quanto maior o número de interações recebidas por este objeto analisado, maior também será a sua relevância no ambiente.

Considerando as metodologias elencadas neste estudo, as quais têm potencial aptidão à organização estrutural e podem contribuir em ambientes da Social IoT, que então foi concebida uma abordagem de recomendação das amizades baseada no ranqueamento dos objetos ativos, os quais são indicados aos novos dispositivos inseridos no ambiente [Camargo et al. 2022]. Aqueles objetos com maior interação são destacados e tratados como nodos centrais do ambiente. Estes objetos fazem também o papel de disseminadores de informações, dependendo das relações estabelecidas com outros grupos.

Para além do ranqueamento dos objetos mais importantes no ambiente, também é uma contribuição promovida pela abordagem VISO a composição dos grupos ou círculos sociais destes dispositivos conectados entre si. Como os objetos dentro de uma mesma comunidade possuem interesses comuns, os serviços oferecidos por eles tendem a ser mais relevantes dentro destes grupos.

A lógica por trás da composição do agrupamento de objetos em uma mesma comunidade tem por foco potencializar as recomendações de serviços ou amizades socialmente conscientes e personalizadas, com base em interesses comuns. Como a similaridade e a confiabilidade são aumentadas no círculo social dos dispositivos amigos, devido ao relacionamento ativo entre estes objetos, os grupos permitem maior estabilidade da rede e menor fluxo de requisições sem respostas.

A organização do ambiente inteligente contribui ainda com a redução de operações dependentes do *middleware*, o reenvio de requisições, a otimização no tempo das respostas, entre outros avanços. De forma geral, a estruturação permite um monitoramento mais otimizado dos objetos e demais recursos presentes na rede da Social IoT, algo desejável à medida que um número crescente de objetos integra este cenário.

3.3. Modelo Conceitual da Arquitetura VISO

Uma vez organizado o ambiente torna-se fundamental garantir o fluxo das informações e a organização das funcionalidades implementadas. Para tal, a Figura 3 destaca o modelo conceitual da arquitetura compreendendo cinco níveis: o físico; o de rede; o do *middleware*; o semântico; e o da aplicação. Cada qual, com as suas especificidades necessárias à gestão das relações estabelecidas no ambiente inteligente.

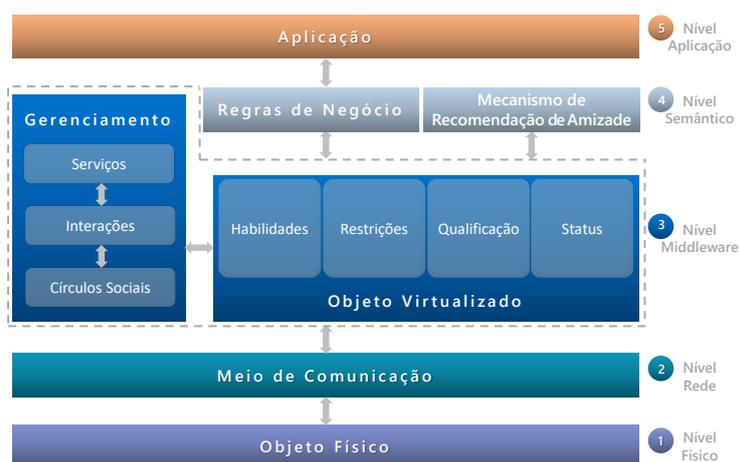


Figura 3. Modelo Conceitual da Arquitetura para Gestão dos Relacionamentos

Os dispositivos IoT tanto enviam informações ao *middleware* quanto atuam diretamente no ambiente. O OV, por sua vez, além das características particulares, também está condicionado às regras de negócio e ao módulo de gerenciamento, o qual controla os serviços ofertados no ambiente, as interações ocorridas entre objetos e, finalmente, as eventuais indicações para a composição do círculo social.

No contexto modelado, as regras de negócio consideram as particularidades do ambiente, como número de objetos ativos, nível de confiança requerida nos relacionamentos e condições de rede. Tais apontamentos são princípios comuns e previamente definidos a todos os partícipes do cenário. O mecanismo de recomendação presente no nível semântico analisa a classificação das amizades existentes e gera as recomendações. Para tal, considera o grau de importância do dispositivo, ou seja, seu ranqueamento preexistente, calculado conforme o volume de interações e a qualidade dos serviços prestados.

O nível de aplicação corresponde à interface que permite a virtualização dos objetos, a atualização das regras de negócio e o controle dos demais parâmetros ambientais, como também o interfaceamento para integração com as demais aplicações existentes no mercado. Esta camada possibilita o monitoramento, em tempo de execução, dos objetos ativos no ambiente. A Subseção 3.4 detalha alguns aspectos funcionais e de implementação da abordagem VISO.

3.4. Modelo Funcional da Arquitetura VISO

Na perspectiva das funcionalidades implementadas pela VISO, a Figura 4 descreve as principais ferramentas de *software* e protocolos habilitadores da abordagem proposta. Como ponto de partida, estas funcionalidades são orientadas a microsistemas, baseados em APIs - acrônimo para *Application Interface Programming* - sendo estes algoritmos levemente acoplados e com funcionalidades específicas, trabalham de forma independente.

Deste modo, o serviço de simulação de amigos da VISO, por exemplo, pode ser executado de forma desplugada da aplicação principal, ou ainda, utilizando uma infraestrutura remota de nuvem. Estas também são características operacionais semelhantes às observadas no serviço de socialização da VISO.

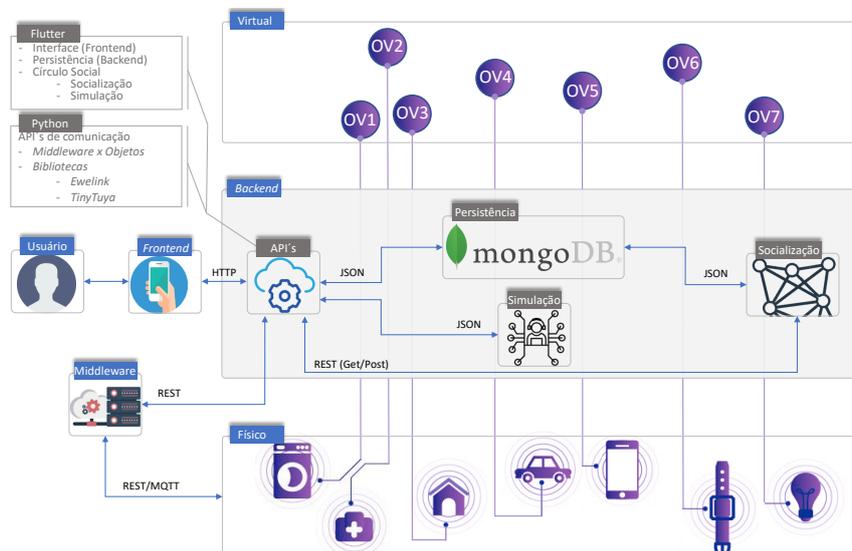


Figura 4. Modelo funcional da arquitetura VISO

Um serviço importante implementado através de APIs, se dá com a integração de bibliotecas fornecidas pelos principais fabricantes de objetos inteligentes do mercado, como no caso da Tuya¹ e da Ewelink², que disponibilizam APIs para acesso às respectivas infraestruturas de nuvem. Contudo, essa comunicação pode ocorrer de forma direta, acessando os objetos ativos no ambiente.

3.5. Validações do mecanismo de recomendação de amigos

Inicialmente, alguns testes foram realizados sobre dados gerados por objetos da IoT que interagiram em um cenário de cidade inteligente. Contudo, percebeu-se algumas limitações estruturantes naqueles dados, principalmente relacionados às diretrizes para a execução do algoritmo de classificação, por exemplo, nenhuma limitação ambiental ou de regras do negócio foram explicitadas [Camargo et al. 2022]. Da mesma forma, na descrição dos dados coletados também não havia indicação de restrições quanto ao número de amigos ou requisições atendidas pelo objeto.

Assim, partindo-se para uma segunda etapa de validação da arquitetura VISO, alguns dados foram gerados de forma sintética através do ambiente de modelagem e simulação de agentes denominado SeSAM³. Uma configuração inicial do ambiente foi determinada, constando de: (i) número de objetos inseridos; (ii) limite de interações; (iii) atendimento de requisições simultâneas; (iv) taxa de repetição de relacionamentos; e (v) percentual de operações com avaliação positiva. Neste cenário proposto é possível validar o enquadramento de cada objeto em um dos papéis definidos pela metodologia

¹<https://developer.tuya.com/>

²<https://ewelink-api.vercel.app/>

³<https://sourceforge.net/projects/sesam/>

ONA. O alvo é destacar aqueles que tenham o perfil de nó central, devido ao volume de relacionamentos estabelecidos no ambiente.

a) – Recorte dos dados de interações			b) – Lista de interações do objeto prestador			
Prestador	Solicitante	Status	Prestador	Solicitante		
6	21	0	6	21*	21	
6	21	1	11	12	16	28*
11	12	1	35	39		
11	16	1	36	13	13	37
11	28	0	37	28*		
35	39	1	*interações desqualificadas(status=0)			
36	13	1	c) – Classificação do objeto prestador do serviço, conforme a metodologia ONA			
36	13	1	Papel	Objeto		
36	37	1	Nó central	36		
37	28	0	Disseminador	11		
			Periférico	37		

Figura 5. Recorte simplificado dos dados de interações gerados no simulador

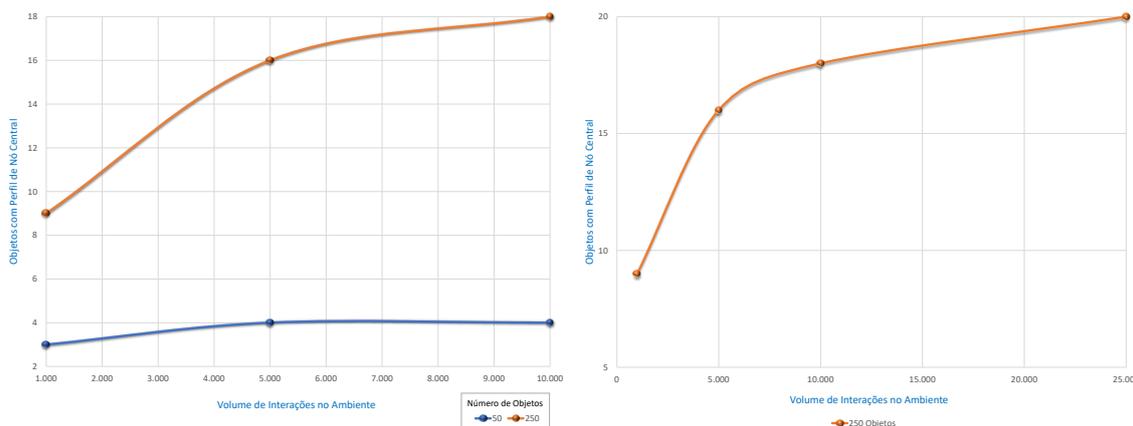
A tabela mais à esquerda na Figura 5 denominada “a)- Recorte dos dados de interações” detalha os objetos prestadores de algum serviço ou informação, seguido pela identificação do objeto solicitante e um valor de *status* que representa o *feedback* emitido pelo solicitante com relação ao serviço prestado. Nesta o valor “0” representa insatisfação e o valor “1” representa atendimento satisfatório.

Na sequência, após listagem de todas as interações, cada objeto prestador do serviço fica atrelado a uma lista de objetos solicitantes desde que o *feedback* seja satisfatório. No cenário apresentado apenas um objeto foi destacado como nó central, devido ao volume de interações. Da mesma forma, apenas um foi considerado disseminador, visto que interagiu com diferentes objetos e apresentou maior capilaridade entre os círculos sociais constituídos no ambiente inteligente provido pela VISO.

A Figura 6 demonstra graficamente o comportamento da VISO, especialmente do algoritmo baseado na abordagem ONA para identificação dos papéis exercidos pelos objetos. Com uso da ferramenta de simulação, ampliou-se a complexidade do ambiente de socialização, inserindo 50 ou 250 objetos e liberando os agentes para estabelecerem livremente as relações. Neste cenário (Figura 6-a) foram demarcados três pontos de corte para análise, com 1.000, 5.000 e 10.000 interações cada um deles. Como também (Figura 6-b) um teste massivo com até 25.000 relacionamentos firmados no ambiente.

A Figura 6(a) se limita a um volume de 10.000 interações, pois a simulação com 25.000 aplicada no ambiente contendo apenas 50 objetos conduz a um ponto no qual todos eles acabam interagindo em alguma época. Isso decorre da ocupação daqueles objetos centrais e do consequente direcionamento da requisição para outro objeto ocioso em dado momento.

As simulações apontam que os objetos selecionados no papel de nó central representam, em média, a seleção de 7% do total de objetos presentes no ambiente, mas cobrem até 60% das relações sociais estabelecidas. Neste sentido, um objeto novo inserido no ambiente tem uma probabilidade maior de encontrar os serviços/informações ou até mesmo compor novos serviços ao interagir com qualquer objeto deste agrupamento. Cabe destacar que os gráficos apresentados na Figura 6 demonstram uma tendência de estabilidade do ambiente quanto à atribuição de papéis centrais, mesmo incrementando significativamente o volume de interações ou o número de objetos ativos no ambiente.



(a) Volume de interações com 50 e 250 objetos

(b) 250 Objetos socializando em diferentes intensidades

Figura 6. Definição do Nó Central com variações ambientais em capacidade de socialização e no volume de objetos participantes

Tendo em vista essa validação inicial das interações e o comportamento estável do algoritmo de classificação, a próxima etapa de testes compreende a inserção de serviços e habilidades de cada objeto. Além disso, pretende-se avaliar o impacto do ranqueamento dos objetos, considerando a relevância daquele objeto que avaliou um serviço prestado.

4. Considerações Finais

As contribuições do modelo arquitetural proposto se manifestam tanto no nível do *middleware*, quanto no nível semântico. No primeiro, os objetos são caracterizados no ambiente e, a partir dessa caracterização, as interações ocorrem e os serviços são distribuídos aos dispositivos mais qualificados. Os objetos que respondem adequadamente são indicados para a composição dos círculos sociais, potencializando novas conexões. Assim, os objetos que frequentam um local podem cooperar com maior confiabilidade do que aqueles que nunca se encontraram antes ou que exibiram um comportamento malicioso, evitando comprometer a estabilidade do ecossistema VISO.

A segunda contribuição vem com a concepção e a implementação do mecanismo de recomendação das amizades, que monitora em tempo de execução as interações. Em alinhamento às regras de negócio, é capaz de agrupar objetos com funcionalidades semelhantes, fortalecendo os laços sociais e a fluidez da comunicação. Os papéis e as qualificações são características atribuídas dinamicamente aos objetos, conforme o sucesso das interações realizadas no ambiente.

Em testes de validação dos algoritmos implementados na VISO, observam-se resultados importantes tanto na classificação, quanto no destacamento dos objetos mais relevantes em dado momento. Assim, a recomendação de amizades para novos objetos inseridos no ambiente, mesmo em cenários de intensos relacionamentos e com a presença de um número significativo de objetos, se torna um processo simplificado pela abordagem VISO.

Referências

Bouazza, H., Said, B., and Zohra Laallam, F. (2022). A hybrid iot services recommender system using social iot. *Journal of King Saud University - Computer and Information*

Sciences, 34(8, Part B):5633–5645.

- Camargo, L., Pernas, A. M., and Yamin, A. (2022). A conceptual model for autonomic relationships in the social internet of things. In *Proceedings of the Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, WebMedia '22*, page 305–313, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Camargo, L., Pernas, A. M., Yamin, A., and Haertel, F. (2021). Desafios de pesquisa em arquiteturas para iot social. In *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva*, pages 1–10. SBC.
- Dhelim, S., Ning, H., Farha, F., Chen, L., Atzori, L., and Daneshmand, M. (2021). IoT-enabled social relationships meet artificial social intelligence. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(24):17817–17828.
- Dhiman, G., Nagar, A., and Kadry, S. (2022). Explainable artificial intelligence for the social internet of things: Analysis and modeling using collaborative technologies [special section editorial]. *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine*, 8(4):34–35.
- Girau, R., Martis, S., and Atzori, L. (2016). Lysis: A platform for iot distributed applications over socially connected objects. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(1):40–51.
- Khelloufi, A., Ning, H., Dhelim, S., Qiu, T., Ma, J., Huang, R., and Atzori, L. (2020). A social-relationships-based service recommendation system for siot devices. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(3):1859–1870.
- Kowshalya, A. M. and Valarmathi, M. (2017). Trust management in the social internet of things. *Wireless Personal Communications*, 96(2):2681–2691.
- Malekshahi Rad, M., Rahmani, A. M., Sahafi, A., and Nasih Qader, N. (2020). Social internet of things: vision, challenges, and trends. *Human-centric Computing and Information Sciences*, 10(1):1–40.
- Muhammad, S., Umar, M. M., Khan, S., Alrajeh, N. A., and Mohammed, E. A. (2023). Honesty-based social technique to enhance cooperation in social internet of things. *Applied Sciences*, 13(5):2778.
- Nasirahmadi, A. and Hensel, O. (2022). Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin paradigm. *Sensors*, 22(2):498.
- Ouafiq, E. M., Saadane, R., and Chehri, A. (2022). Data management and integration of low power consumption embedded devices iot for transforming smart agriculture into actionable knowledge. *Agriculture*, 12(3):329.
- Rajendran, S. and Jebakumar, R. (2021). Object recommendation based friendship selection (orfs) for navigating smarter social objects in siot. *Microprocessors and Microsystems*, 80:103358.
- Robinson, S. (2020). Conceptual modelling for simulation: Progress and grand challenges. *Journal of Simulation*, 14(1):1–20.
- Zia, K., Al Maskari, S., Saini, D. K., Muhammad, A., and Farooq, U. (2019). A simulation model demonstrating the impact of social aspects on social internet of things. In *Proceedings of the 21st International Conference on Information Integration and Web-Based Applications & Services*, pages 202–211.