

Defining Web Embodiment: Requirements for Embodied Intelligent Agents on the Web

Iderli P. Souza Filho¹, Fernando R. Santos¹,
Maiquel de Brito², Jomi F. Hübner¹

¹ Departamento de Automação e Sistemas (DAS), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, Brasil

² Departamento de Engenharia de Controle, Automação e Computação (CAC), Campus Blumenau, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Blumenau, SC, Brasil

iderli.souza@posgrad.ufsc.br, fernando.rod.santos@gmail.com

maiquel.b@ufsc.br, jomi.hubner@ufsc.br

Abstract. *The growing integration of intelligent agents with the Web infrastructure highlights the need for mechanisms that represent these agents as effective participants in the environment rather than merely as isolated consumers or providers of services. Although embodiment models for Web agents have been proposed, there is still no clear definition of the characteristics that a Web embodiment should possess to make an agent observable, interoperable, and contextualized within its operating environment. To address this gap, this paper presents a systematization of the concept of embodiment for Web agents by defining a set of requirements that guide its characterization. Eight requirements are proposed, covering aspects related to locality, ontological modeling, behavior observability, interoperability, capability exposure, cooperation availability, authenticity, and the functional purpose of the body. By establishing these criteria, the paper provides a conceptual framework for the development and evaluation of future embodiment approaches, contributing to the integration of agents into the Web in a more cohesive manner and supporting discovery, interaction, and cooperation in distributed environments.*

Resumo. *A crescente integração entre agentes inteligentes e a infraestrutura da Web evidencia a necessidade de mecanismos que permitam representar esses agentes como participantes efetivos do ambiente, e não apenas como consumidores ou provedores isolados de serviços. Apesar de existirem modelos de corporeidade para agentes na Web, ainda não há uma definição clara sobre quais características uma corporeidade Web deve possuir para tornar um agente observável, interoperável e contextualizado em seu ambiente de atuação. Diante dessa lacuna, este trabalho apresenta uma sistematização do conceito de corporeidade para agentes Web por meio da definição de um conjunto de requisitos que orientam sua caracterização. São propostos oito requisitos que abrangem aspectos de agente situado, modelagem ontológica, observabilidade do comportamento, interoperabilidade, exposição de capacidades, disponibilidade para cooperação, autenticidade e finalidade funcional do corpo. Ao estabelecer esses critérios, o trabalho fornece um referencial conceitual para*

o desenvolvimento e a avaliação de futuras abordagens de corporeidade, contribuindo para que agentes possam ser incorporados à Web de maneira mais integrada, favorecendo processos de descoberta, interação e cooperação em ambientes distribuídos.

1. Introdução

Nos últimos anos, a infraestrutura da *Web* tem passado por uma evolução que favorece a sua integração com Sistemas Multiagentes (SMAs). As padronizações desenvolvidas pelo *World Wide Web Consortium (W3C)* e pela *Internet Engineering Task Force (IETF)* fortalecem o surgimento de novos casos de uso para agentes inteligentes que necessitam estar situados e incorporados aos seus ambientes [Zimmermann et al. 2023]. Nesse cenário, conforme observam [Boissier et al. 2021], grande parte dos serviços e das interações presentes na *Web* é mediada por agentes de software invisíveis, responsáveis por atividades como rastreamento de páginas, curadoria de conteúdo e sistemas de recomendação.

Entretanto, operar de maneira oculta, isto é, de forma que outros sistemas e agentes na *web* não consigam perceber sua presença e seu comportamento, pode representar um desperdício de potencial de interação. Quando um agente atua de modo invisível, suas ações, intenções e capacidades permanecem inacessíveis aos demais, o que reduz as possibilidades de reconhecimento e colaboração. Essa falta de visibilidade cria uma barreira à interoperabilidade, pois impede que outros agentes ou sistemas identifiquem sua presença, compreendam suas funções ou estabeleçam formas de cooperação significativas.

Atualmente, a descoberta de agentes na *web*, entendida como o processo de localizar e identificar agentes disponíveis para interação ou utilização, é frequentemente mediada por mecanismos inspirados em diretórios tradicionais, como páginas brancas e amarelas. Esses mecanismos permitem localizar agentes com base em informações previamente conhecidas, como identificador, endereço ou função. Contudo, tais abordagens pressupõem um conhecimento prévio sobre o que se deseja encontrar, o que limita sua flexibilidade e gera um acoplamento entre o processo de descoberta e as características específicas dos agentes. Além disso, elas não lidam adequadamente com a ideia de situar o agente na *web*, uma vez que os agentes não estão inseridos em um contexto definido, mas sim acoplados a um diretório centralizado. Esse acoplamento restringe a capacidade do sistema de adaptar-se a novos contextos e dificulta a identificação dinâmica de agentes.

Diante dessas limitações, torna-se necessário repensar a forma como agentes são representados e identificados na *Web*, de modo que eles possam perceber uns aos outros de forma contextualizada no ambiente em que atuam, em vez de depender exclusivamente de diretórios centralizados. Nesse contexto, a corporeidade (*Embodiment*) oferece uma perspectiva na qual a identificação de agentes emerge naturalmente de sua presença online, uma vez que agentes situados no mesmo espaço da *Web* podem perceber uns aos outros por meio dos mesmos mecanismos utilizados para perceber o ambiente em que estão inseridos [Castellucci et al. 2024]. Essa abordagem permite que suas capacidades e formas de interação sejam expostas de maneira coerente com os princípios fundamentais da *Web*. A partir dessa perspectiva, este trabalho tem como objetivo aprofundar a definição de corporeidade para agentes Web e propor um conjunto de critérios que orientem sua caracterização, estabelecendo uma base conceitual para o desenvolvimento e a

avaliação de agentes efetivamente incorporados a *Web*.

2. Conceitos Fundamentais

Esta seção apresenta os conceitos que fundamentam este trabalho. Inicialmente, é discutido o conceito de corporeidade (*embodiment*) e sua extensão para contextos digitais. Em seguida, na seção de SMAs situados em ambientes *Web*, apresentamos a relação destes agentes e do ambiente em que estão inseridos. Posteriormente, são apresentados os princípios da *Web of Things (WoT)* e o padrão *Thing Description (TD)*, utilizados para descrever recursos e suas capacidades de interação. Por fim, é introduzida a *Web Ontology Language (OWL)*, empregada na representação semântica e na inferência automática sobre o conhecimento.

2.1. Corporeidade (Embodiment)

O conceito de *embodiment*, ou corporeidade, como tratamos neste trabalho, refere-se à noção de que um agente deve possuir um corpo que esteja situado no seu ambiente de atuação. Essa ideia é amplamente discutida na robótica, onde a corporeidade é considerada um componente fundamental para agentes físicos, uma vez que suas ações e percepções estão diretamente relacionadas às propriedades físicas e dinâmicas do mundo real [Deng et al. 2019].

No entanto, a visão de corporeidade não se restringe ao domínio físico. Conforme argumenta [Ziemke 2013], o conceito tornou-se central em diversas áreas da ciência cognitiva e da inteligência artificial, ampliando-se para além da materialidade do corpo e estendendo-se para aspectos digitais. Nessas abordagens, a corporeidade é entendida como um elemento constitutivo da cognição. A forma como um agente percebe, age e compreende o mundo depende de seu corpo, físico ou simbólico, e das possibilidades de interação que ele oferece. Assim, a corporeidade deixa de ser tratada apenas como uma característica de agentes inseridos em ambientes físicos e passa a ser concebida como um princípio que estrutura os processos cognitivos, influenciando a interpretação de sinais, a construção de significados e a participação do agente em um ecossistema de ações e percepções.

Além disso, uma corporeidade digital evidencia que a presença de um corpo é o que situa o agente em seu ambiente. Nesse contexto, o corpo não funciona apenas como meio de ação, mas também como fonte de visibilidade e identificação, servindo como ponto de referência para que outros agentes ou entidades possam reconhecer suas capacidades, limitações e possíveis intenções.

Diante destas variações conceituais, outras formas de corporeidade concebidas para ambientes digitais, como representações simbólicas, estruturas semânticas ou descrições formais que tornam o agente perceptível e interpretável, podem ser compreendidas como um tipo de corporeidade digital. Nesse contexto, o corpo não se manifesta por meio de dispositivos físicos, mas por meio de elementos informacionais que funcionam como mediadores entre o agente e o ambiente. Essa corporeidade digital atua tanto como uma ponte para a captação de percepções e a realização de ações quanto como um meio de visibilidade, permitindo que o agente seja reconhecido, interpretado e situado no ecossistema em que opera. Assim, a noção de corporeidade digital relaciona-se diretamente ao a situação do agente no ambiente: ao possuir um corpo, ainda que simbólico, o

agente passa a ocupar uma posição discernível no ambiente, tornando-se disponível para interação, cooperação e interpretação por parte de outros agentes e sistemas. Em ambientes computacionais, portanto, a corporeidade assume a função de estruturar a presença do agente, oferecendo um conjunto de sinais observáveis que fundamentam sua participação no ambiente.

2.2. Sistemas Multiagentes situados em Ambientes *web*

O ambiente é uma parte intrínseca do Sistema Multiagente e frequentemente é tratado de maneira improvisada, como indicado por [Molesini et al. 2009]. Isso levou a diferentes perspectivas sobre o ambiente adotadas pela comunidade de agentes, onde, tradicionalmente, tudo o que está além do âmbito do SMA é considerado como parte do ambiente, conforme destacado por [Stuart and Peter 2010].

Os agentes situados na *Web*, como definidos por [Boudriga and Obaidat 2004], são agentes capazes de acessar recursos remotos e, dessa forma, adquirir conhecimento sobre a infraestrutura de rede e os serviços disponíveis. Por exemplo, agentes em rede, como motores de busca, realizam suas tarefas, ocultando a complexidade da infraestrutura da rede, tornando as informações na *Web* e o acesso aos protocolos visíveis aos usuários.

Dentro dessa perspectiva, o conceito de hipermídia, defendido por [Ciortea et al. 2018], é apresentado como uma forma de estruturar o ambiente *Web*, servindo como um mecanismo de interação uniforme para SMA. Em um SMA Hipermídia, os agentes estão situados em um ambiente distribuído no qual podem navegar, buscar e utilizar diferentes sistemas e dispositivos disponíveis na rede. Esse ambiente de hipermídia oferece aos agentes características típicas de um SMA, permitindo a interação com serviços, ferramentas e promovendo a coordenação entre eles. No entanto, os agentes precisam navegar pela hipermídia para descobrir as entidades e funcionalidades presentes nesse espaço. [Ciortea et al. 2018] também argumentam que essa abordagem reduz o acoplamento e melhora a escalabilidade e a capacidade de evolução do sistema.

2.3. Web of Things (WoT) e Thing Description (TD)

A *Web of Things* visa integrar objetos físicos do mundo real à infraestrutura da *Web*. Na arquitetura proposta pela *W3C*, as camadas iniciais são compostas por *Thing Description*, que representam metadados padronizados descrevendo as capacidades dos dispositivos *WoT* de forma uniforme. Essas descrições apresentam um conjunto de interações com base em um vocabulário comum, permitindo a integração de dispositivos heterogêneos e possibilitando a interoperabilidade entre diferentes aplicações e sistemas [World Wide Web Consortium 2023]. O objetivo principal das TDs é descrever os chamados “*Things*” (coisas/dispositivos físicos) de modo que sistemas e agentes de software possam descobri-los e interagir com eles de maneira automatizada.

Esse modelo organiza as capacidades dos recursos em três categorias principais: propriedades observáveis (*propertyAffordances*), ações executáveis (*actionAffordances*) e eventos monitoráveis (*eventAffordances*). Tais interações são representadas por meio do conceito de *affordances*. Assim, ao identificar *affordances* nos recursos *Web*, o agente é capaz de inferir automaticamente quais operações pode realizar, como consultar o estado de uma máquina, ativar um processo ou assinar notificações de eventos.

2.4. Linguagem de Ontologia Web

Ontologias, no contexto da Web Semântica, conforme destacado por [Gruber 1993], foram concebidas para apoiar o compartilhamento, a integração e a reutilização de conhecimento formalmente representado entre sistemas de inteligência artificial. Elas definem um vocabulário comum e explícito no qual o conhecimento compartilhado é representado. Em essência, uma ontologia especifica as classes relevantes de um domínio, suas propriedades, relações e restrições, constituindo uma base semântica para a interoperabilidade entre sistemas.

Neste sentido, a Web Ontology Language (OWL)[Antoniou and Harmelen 2009], padronizada pelo W3C, é uma linguagem da Web Semântica desenvolvida para representar conhecimento formal sobre classes (conceitos), indivíduos (instâncias) e as relações entre eles. A OWL permite descrever estruturas de conhecimento complexas de forma lógica e computacionalmente interpretável, possibilitando que agentes de software e sistemas automatizados realizem inferências, verifiquem a consistência ontológica e descubram conhecimento implícito a partir de axiomas e relações definidas.

3. Trabalhos Relacionados

Esta seção tem como objetivo detalhar os trabalhos identificados que abordam o tema da corporeidade em agentes voltados para ambientes Web, descrever a ideia geral dos artigos e detalhar o funcionamento da corporeidade adotada.

O trabalho de [Grinberg 2011] apresenta uma arquitetura cognitiva para integração de agentes inteligentes com ambientes Web, estruturada em três camadas: Mente, Corpo e Ambiente. Nessa proposta, o Corpo atua como intermediário entre os processos cognitivos e o ambiente, realizando a tradução de percepções e ações por meio de representações semânticas baseadas em *Resource Description Framework (RDF)*, o que possibilita inferências sobre as informações percebidas. Apesar de utilizar tecnologias da Web semântica para comunicação e processamento de dados, a arquitetura não situa o agente na própria Web como uma entidade distribuída ou corporificada, empregando-a principalmente como um meio de intercâmbio de informações.

O trabalho de [Castellucci et al. 2024] propõe uma abordagem de corporeidade para agentes em ambientes Web baseada no meta-modelo Agent & Artifact (A&A) e implementada na plataforma *Yggdrasil*. Diferentemente de abordagens que tratam a Web apenas como meio de comunicação, a proposta busca situar o agente no próprio ambiente por meio de um corpo representado como um artefato descrito semanticamente e modelado como uma *Thing* utilizando a ontologia *Thing Description*, ontologia baseada no conceito de *TD* da *WoT*. Embora essa visão se aproxime dos requisitos de corporeidade que serão apresentados neste trabalho, a representação do corpo permanece restrita principalmente às capacidades de percepção e atuação, sem incorporar outras propriedades observáveis que expressem de forma mais abrangente suas funções e características no ambiente.

O trabalho de [Zimmermann et al. 2023] apresenta a abordagem *Pody*, na qual o corpo do agente é composto por recursos descritos em *RDF* e associados à sua URI, permitindo que sua presença seja representada de forma descentralizada na infraestrutura da Web. A proposta reconhece a importância de tornar o agente uma entidade identificável

e integrada ao ambiente, mas concentra-se principalmente na exposição de informações simples do agente (como nome ou identificador), sem definir mecanismos para observação de seu comportamento em tempo de execução ou para representação de informações inferíveis, como as possíveis ações que o agente pode realizar no ambiente..

4. Requisitos para uma Corporeidade Web

Esta seção tem como objetivo apresentar um conjunto de requisitos que caracterizam a ideia de corporeidade de um agente na Web. Esses requisitos não descrevem uma implementação específica, mas estabelecem propriedades que uma corporeidade deve satisfazer para que o agente seja efetivamente situado, observável e capaz de participar do ambiente de forma integrada. Nas subseções seguintes, cada requisito é apresentado e discutido em termos de sua motivação e contribuição para a construção de uma corporeidade Web.

4.1. Justificativa dos Requisitos de Corporeidade

A definição dos requisitos de corporeidade apresentados neste trabalho foi orientada por uma análise conceitual sobre o papel do corpo na relação entre um agente e o ambiente em que está inserido. Em essência, essa análise foi guiada pela seguinte questão: *quais características um corpo deve possuir para que um agente deixe de apenas utilizar a Web como ferramenta e passe a existir como uma entidade integrada ao próprio ambiente Web?*

Para responder a essa questão, realizou-se um estudo do conceito de corporeidade em ambientes físicos e digitais, buscando compreender quais funções o corpo desempenha na mediação entre o agente e o ambiente. Além disso, analisou-se propostas relacionadas à corporeidade para agentes na Web e em arquiteturas que exploram conceitos semelhantes, permitindo identificar princípios recorrentes e limitações ainda existentes. Por fim, realizou-se uma reflexão crítica sobre como as características encontradas poderiam ser reinterpretadas e adaptadas ao contexto da Web. Esse processo resultou nos oito requisitos descritos a seguir nas seções 4.2 a 4.9.

4.2. Agente Situado

Por meio dessa característica, o agente deixa de ser apenas uma entidade acessível por um identificador e passa a ocupar uma posição reconhecível no ambiente em que está inserido. Essa posição define o contexto de sua atuação, influenciando suas percepções, ações e interações com outros agentes e recursos da Web, sendo, portanto, um elemento central na diferenciação do *Web Embodiment* para outros tipos de representação de agentes na Web. Esse conceito também é inspirado na cognição situada (*situated cognition*) [Wilson 2002], segundo a qual os processos cognitivos ocorrem em constante interação com o ambiente, influenciando e sendo influenciados pelas percepções e ações do agente.

A importância de situar o agente torna-se ainda mais evidente diante da natureza distribuída e da escala da própria Web. Sem um contexto bem definido, um agente estaria potencialmente associado a um espaço praticamente ilimitado, tornando ambíguas suas possibilidades de atuação e dificultando a interpretação de suas capacidades por outros participantes do ambiente. O Agente situado, portanto, não deve ser entendida apenas como uma posição ou endereço, mas como o elemento que delimita o escopo em que as percepções, ações e relações do agente adquirem significado.

Diferentemente de abordagens baseadas exclusivamente em diretórios ou mecanismos de descoberta centralizados, o agente situado pressupõe que o próprio corpo do agente esteja associado ao ambiente em que atua. Assim, a descoberta e a interpretação de suas capacidades passam a decorrer de sua presença contextualizada, permitindo que outros agentes compreendam seu papel e suas possibilidades de interação a partir do espaço em que está situado.

Além disso, o agente situado favorece uma visão distribuída da Web, na qual agentes podem compartilhar um mesmo contexto ou transitar entre diferentes ambientes, estabelecendo relações de proximidade e vizinhança que influenciam naturalmente suas oportunidades de cooperação e atuação. Dessa forma, o corpo deixa de ser apenas um identificador estático e passa a representar a inserção efetiva do agente no ecossistema em que opera.

4.3. Modelagem Ontológica do Corpo

Para que a corporeidade possa ser compreendida e utilizada por diferentes agentes e sistemas, é necessário que sua estrutura seja descrita por meio de um modelo semântico compartilhado. A modelagem ontológica do corpo fornece esse modelo, definindo formalmente os conceitos, propriedades e relações que caracterizam a presença do agente na Web. Dessa forma, o corpo deixa de ser apenas um conjunto de dados e passa a constituir uma representação interpretável por máquinas, possibilitando interoperabilidade e raciocínio automático.

Embora ontologias existentes possam ser reutilizadas para descrever aspectos específicos do agente, como recursos da Web ou capacidades de interação, a própria noção de corporeidade envolve conceitos que não são contemplados integralmente por esses vocabulários. Elementos como disponibilidade para cooperação, representação de comportamentos observáveis e outras características próprias do corpo do agente exigem uma modelagem que expresse explicitamente esses aspectos e suas relações.

Nesse contexto, torna-se necessário que a corporeidade seja apoiada por uma ontologia capaz de representar adequadamente seus conceitos e relações. Essa necessidade pode ser atendida tanto pela criação de uma nova ontologia quanto pela adaptação ou extensão de ontologias já existentes, desde que elas sejam capazes de expressar os aspectos específicos da corporeidade Web. Assim, o objetivo não é substituir padrões consolidados, mas garantir que o modelo semântico adotado represente de forma explícita e consistente as características do corpo do agente e possa ser integrado ao ecossistema semântico da Web.

4.4. Visibilidade do Comportamento do Agente na Web

Uma característica importante da corporeidade é a capacidade de tornar o comportamento do agente observável para os demais participantes do ambiente. Em sistemas físicos, grande parte das ações de um indivíduo pode ser percebida diretamente por meio de seu corpo, permitindo que outros interpretem suas intenções, acompanhem suas atividades e adaptem seu próprio comportamento em função dessas observações. De forma análoga, uma corporeidade Web deve oferecer mecanismos que permitam a percepção das ações realizadas pelo agente durante sua execução.

Essa observabilidade não se limita ao registro histórico de eventos, mas envolve a possibilidade de acompanhar as atividades que estão sendo desempenhadas pelo agente em tempo de execução. Ao tornar suas ações visíveis, o agente favorece a coordenação espontânea, reduz ambiguidades sobre seu comportamento e permite que outros agentes tomem decisões mais informadas sem depender exclusivamente de comunicação direta.

Além disso, a exposição do comportamento contribui para a transparência do sistema, facilitando processos de monitoramento, auditoria e compreensão das dinâmicas existentes no ambiente. Um agente que executa ações de forma completamente invisível dificulta a construção de interações cooperativas e impede que terceiros reconheçam sua participação no contexto em que está inserido.

4.5. Interoperabilidade por meio da Thing Description

Um dos principais objetivos da corporeidade Web é permitir que diferentes agentes e sistemas possam compreender e interagir com o corpo de maneira uniforme, independentemente das tecnologias utilizadas em sua implementação. Para isso, é fundamental que sua representação esteja alinhada com padrões amplamente adotados pela própria infraestrutura da Web, favorecendo a interoperabilidade e reduzindo a necessidade de adaptações específicas entre aplicações.

Nesse contexto, o padrão *TD*, definido no âmbito da *WoT*, fornece um modelo padronizado para descrever entidades por meio de suas propriedades, ações e eventos. Embora tenha sido concebido originalmente para descrever dispositivos conectados, propõe-se, como requisito de uma corporeidade Web, adaptar esse padrão para a representação do corpo de agentes. Nessa perspectiva, o corpo é modelado como uma *Thing*, permitindo aproveitar os mecanismos de descrição oferecidos pela TD e aproximar a corporeidade do ecossistema da Web das Coisas. Trata-se, portanto, de uma ampliação da aplicação original do padrão, empregando-o como base para a integração semântica de agentes à Web, e não apenas para a descrição de dispositivos físicos.

Sob essa perspectiva, um agente que visualiza o corpo de outro agente na Web não percebe diretamente outro agente, mas sim a *Thing* que representa seu corpo. Essa *Thing* passa a constituir a manifestação pública do agente na Web, concentrando as informações e interfaces necessárias para sua identificação, interpretação e interação. Assim, ao descobrir uma *Thing*, um agente pode inferir que ela corresponde ao corpo de outro agente e utilizar sua descrição para compreender suas capacidades, propriedades e formas de comunicação, da mesma maneira que interagiria com qualquer outro recurso descrito pelo padrão.

A adoção da TD também favorece o reaproveitamento de ferramentas e mecanismos já existentes para descoberta, descrição e interação na Web das Coisas, ampliando a interoperabilidade entre agentes e outros recursos distribuídos. Dessa forma, o corpo passa a integrar o ambiente baseado em padrões abertos, facilitando sua compreensão e utilização por diferentes aplicações.

4.6. Observação das Possíveis Ações do Agente

Uma das principais vantagens de tornar o corpo do agente observável é permitir que outros agentes compreendam não apenas sua existência, mas também as ações que ele é capaz de executar no ambiente. Em um cenário colaborativo, conhecer previamente as capacidades

de um agente reduz a necessidade de consultas ou negociações iniciais, possibilitando que decisões sobre cooperação e delegação de tarefas sejam tomadas de forma mais eficiente.

Essa capacidade pode ser expressa por meio do conceito de *affordance*, entendido como a possibilidade de ação que um determinado elemento do ambiente oferece a um observador. No contexto da corporeidade Web, as *affordances* representam as ações que podem ser realizadas pelo agente e que são inferíveis a partir da descrição de seu corpo. Dessa forma, um agente observador pode identificar oportunidades de interação simplesmente analisando a representação pública do agente observável, sem depender de comunicação direta para descobrir suas funcionalidades.

É importante destacar que essas capacidades descrevem o potencial de atuação do agente, e não necessariamente as ações que estão sendo executadas em um dado momento. Enquanto a visualização do comportamento em tempo de execução permite acompanhar atividades correntes, a exposição das *affordances* informa aquilo que o agente é capaz de fazer, fornecendo uma visão complementar de sua corporeidade.

4.7. Disponibilidade para Cooperação

Em ambientes compostos por múltiplos agentes, a capacidade de identificar quais participantes estão aptos ou dispostos a colaborar é fundamental para a coordenação eficiente das atividades. Embora um agente possa possuir determinadas capacidades de ação, isso não implica que ele esteja disponível para utilizá-las em um dado momento. Seu estado pode ser influenciado por fatores como execução de outras tarefas, indisponibilidade temporária ou restrições definidas por sua própria política de funcionamento.

Nesse contexto, a corporeidade deve permitir que informações sobre a disponibilidade do agente sejam públicas e observáveis por terceiros. Ao consultar o corpo de um agente, outros participantes do ambiente devem ser capazes de verificar se ele está disponível para cooperação, reduzindo tentativas de interação desnecessárias e facilitando processos de descoberta, coordenação e formação de parcerias.

4.8. Autenticidade do Corpo

A corporeidade somente pode cumprir seu papel como representação pública do agente se houver garantias de que as informações observadas são genuínas e estão sob o controle de seu legítimo proprietário. Sem esse vínculo, qualquer entidade poderia assumir a identidade de outro agente ou alterar sua representação, comprometendo a confiabilidade das interações e do próprio ambiente.

Dessa forma, a autenticidade do corpo refere-se ao estabelecimento de uma relação verificável entre o agente e sua corporeidade, assegurando que apenas ele possua autoridade para publicar ou modificar as informações que a compõem. Essa garantia é especialmente relevante quando o corpo expõe estados dinâmicos, capacidades ou outros elementos utilizados por terceiros para tomar decisões de cooperação e interação.

O mecanismo empregado para fornecer essa garantia pode variar conforme a arquitetura adotada, como o uso de assinaturas digitais, identidades descentralizadas ou outros métodos de autenticação. O aspecto essencial, entretanto, é que a posse do corpo possa ser verificada de maneira confiável por agentes observadores, preservando sua integridade e evitando representações fraudulentas.

4.9. Finalidade da Corporeidade

A definição da finalidade da corporeidade constitui um dos aspectos centrais desta proposta. Essa perspectiva decorre diretamente da ideia de que possuir um corpo significa possuir uma presença observável que pode desempenhar funções para o agente. Desta forma, identificamos quatro finalidades complementares que uma corporeidade Web deve atender.

A primeira é a **interação com o ambiente**. Nessa dimensão, o corpo atua como a interface responsável por conectar os processos internos do agente ao ambiente externo. Todas as informações provenientes da Web são recebidas por meio do corpo e traduzidas para uma representação compreensível pelo agente, enquanto suas decisões são convertidas em ações que modificam ou influenciam o ambiente. Sob essa perspectiva, o corpo desempenha a função de elo entre o raciocínio interno e o contexto em que o agente está inserido, refletindo a concepção clássica de agentes inteligentes baseada no ciclo percepção e ação.

A segunda finalidade corresponde à **interação entre agentes**. Em ambientes multiagentes, a existência de um corpo observável possibilita que agentes estabeleçam relações diretamente por meio de sua representação pública. O corpo passa a funcionar como um ponto de contato acessível, disponibilizando canais de comunicação, interfaces de cooperação e outras formas de interação que permitem a construção de comportamentos coletivos. Dessa maneira, a corporeidade não apenas torna o agente visível, mas também viabiliza sua participação social dentro do ambiente.

A terceira finalidade é a dimensão **informacional estática**. Nesse caso, o corpo atua como um repositório de informações descritivas sobre o agente, expondo atributos relativamente permanentes que auxiliam sua identificação e caracterização. Exemplos incluem informações como identidade, localização, proprietário, versão, descrição textual ou outras propriedades. Essas informações permitem que outros agentes compreendam aspectos básicos da entidade observada antes mesmo de iniciar qualquer forma de interação.

Entretanto, limitar a corporeidade à simples exposição de dados estáticos reduz significativamente seu potencial como recurso semântico da Web. Por esse motivo, propõe-se uma quarta finalidade, denominada **informacional inferível**. Nessa abordagem, as informações disponibilizadas pelo corpo são estruturadas de forma a permitir que outros agentes realizem inferências a partir delas. Isso significa que o corpo não apenas descreve explicitamente determinadas características, mas fornece elementos suficientes para que capacidades, restrições ou possibilidades de comportamento sejam deduzidas automaticamente. É importante destacar que o simples uso de ontologias não garante essa propriedade. Uma descrição que apenas classifique o corpo como uma *Thing* ou categorize determinados elementos pode continuar sendo essencialmente estática. A informação somente se torna inferível quando a modelagem semântica estabelece relações que permitam derivar novos conhecimentos além daqueles explicitamente declarados.

Essa visão também altera a forma como outros agentes percebem seus pares. Ao observar o corpo de um agente, um observador não apenas identifica sua existência, mas pode compreender suas capacidades, verificar seu estado, inferir possibilidades de interação e decidir estratégias de cooperação sem a necessidade de comunicação prévia.

O corpo torna-se, assim, um mecanismo de mediação entre o conhecimento explícito e o conhecimento inferido, ampliando significativamente as possibilidades de descoberta e coordenação distribuída.

Essas quatro finalidades não são independentes nem concorrentes. Pelo contrário, elas se reforçam mutuamente para constituir uma presença completa na Web. Um agente que apenas interage com o ambiente, mas não pode ser compreendido por outros, possui uma corporeidade limitada. Da mesma forma, um corpo que apenas disponibiliza informações estáticas não oferece suporte adequado para descoberta inteligente ou cooperação dinâmica. A integração entre percepção, ação, comunicação e representação semântica permite que a corporeidade desempenhe simultaneamente o papel de interface operacional e de recurso informacional do ambiente.

5. Considerações Finais

Este trabalho apresentou uma discussão sobre o conceito de corporeidade para agentes Web, argumentando que a incorporação de agentes ao ambiente não deve se limitar à capacidade de perceber e atuar sobre recursos da Web, mas também envolver uma presença observável, situada e semanticamente representada. A partir dessa perspectiva, foram propostos oito requisitos que caracterizam uma corporeidade Web, abrangendo aspectos relacionados ao agente situado, modelagem ontológica, observabilidade do comportamento, interoperabilidade, exposição de capacidades, disponibilidade para cooperação, autenticidade e finalidade funcional do corpo.

Em conjunto, esses requisitos constituem um referencial conceitual para orientar o desenvolvimento e a avaliação de futuras abordagens de corporeidade para agentes Web, estabelecendo critérios que buscam caracterizar quando um agente pode ser considerado efetivamente incorporado ao ambiente em que opera. A Tabela 1 apresenta como os trabalhos que abordam o conceito de corporeidade na Web se relacionam com os requisitos de corporeidade adotados.

Tabela 1. Comparação dos requisitos de corporeidade com trabalhos relacionados.

Aspecto	[Grinberg 2011] et al.	[Castellucci et al. 2024] et al.	[Zimmermann et al. 2023] et al.
Agente Situado	-	✓	-
Modelagem Ontológica do Corpo	Parcial	✓	Parcial
Visibilidade do comportamento do agente	-	✓	✓
Interoperabilidade por meio de TD	-	✓	-
Observação das possíveis ações do agente	-	-	-
Disponibilidade para Cooperação	-	Parcial	Parcial
Autenticidade do Corpo	-	-	✓
Interação com o Ambiente	✓	✓	✓
Interação entre Agentes	-	✓	✓
Informacional Estático	-	✓	✓
Informacional Inferível	-	-	-

Nessa visão, o corpo deixa de desempenhar apenas o papel de identificador ou interface de acesso e passa a constituir um recurso capaz de mediar percepções, ações,

interações sociais e representação de conhecimento. Em especial, destaca-se a dimensão informacional inferível, que permite que agentes obtenham conhecimento sobre outros agentes a partir da própria observação de seus corpos, reduzindo a necessidade de comunicação explícita para processos de descoberta e cooperação.

Como trabalhos futuros, pretende-se desenvolver um modelo de corporeidade *Web* baseado nos requisitos propostos e implementar uma aplicação de prova de conceito para avaliar sua viabilidade. Espera-se, com isso, estabelecer uma base para o desenvolvimento de agentes que não apenas utilizem a *Web* como meio de comunicação, mas que efetivamente existam e participem dela como entidades presentes no ambiente.

Referências

- Antoniou, G. and Harmelen, F. v. (2009). *Web Ontology Language: OWL*, pages 91–110. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Boissier, O., Ciorrea, A., Harth, A., and Ricci, A. (2021). Autonomous agents on the web. In *Dagstuhl-Seminar 21072: Autonomous Agents on the Web*, page 100p.
- Boudriga, N. and Obaidat, M. S. (2004). Intelligent agents on the web: A review. *Computing in Science & Engineering*, 6(4):35–42.
- Castellucci, M., Burattini, S., Ciorrea, A., Lemée, J., Vachtsevanou, D., Ricci, A., and Mayer, S. (2024). Towards agents’ embodiment in hypermedia multi-agent systems. In *European Conference on Multi-Agent Systems*, pages 361–381. Springer.
- Ciorrea, A., Boissier, O., and Ricci, A. (2018). Engineering world-wide multi-agent systems with hypermedia. In *International Workshop on Engineering Multi-Agent Systems*, pages 285–301. Springer.
- Deng, E., Mutlu, B., Mataric, M. J., et al. (2019). Embodiment in socially interactive robots. *Foundations and Trends® in Robotics*, 7(4):251–356.
- Grinberg, M. (2011). A cognitive approach to web-based intelligent agents: The triple architecture. *Web Intelligence and Agent Systems*, 9(1):69–79.
- Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 5(2):199–220.
- Molesini, A., Omicini, A., and Viroli, M. (2009). Environment in agent-oriented software engineering methodologies. *Multiagent and Grid Systems*, 5(1):37–57.
- Stuart, R. and Peter, N. (2010). Artificial intelligence a modern approach third edition.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic bulletin & review*, 9(4):625–636.
- World Wide Web Consortium (2023). Web of things (wot) thing description 1.1. <https://www.w3.org/TR/wot-thing-description11/>. W3C Recommendation.
- Ziemke, T. (2013). What’s that thing called embodiment? In *Proceedings of the 25th Annual Cognitive Science Society*, pages 1305–1310. Psychology Press.
- Zimmermann, A., Ciorrea, A., Faron, C., O’Neill, E., and Poveda-Villalón, M. (2023). Pody: a solid-based approach to embody agents in web-based multi-agent-systems. In *International Workshop on Engineering Multi-Agent Systems*, pages 220–229. Springer.