

# Desafios da Internet das Coisas Musicais

Alexandre Silva de Almeida<sup>1,2</sup>, Rômulo Vieira<sup>1,2</sup>,  
Rafael Sachetto Oliveira<sup>2</sup>, Flávio Luiz Schiavoni<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ALICE - Arts Lab in Interfaces, Computers, and Everything Else

<sup>2</sup>PPGCC - Programa de pós Graduação em Ciência da Computação

UFSJ - Universidade Federal de São João del-Rei

São João del-Rei, MG – Brasil

silvaale2@gmail.com, romulo\_vieira96@yahoo.com.br

sachetto@ufsj.edu.br, fls@ufsj.edu.br

**Resumo.** A Internet das Coisas Musicais é uma área de pesquisa que pretende levar a conectividade da Internet das Coisas para o campo da música e das artes. Junto a esta tecnologia surge a possibilidade de conexão de diferentes coisas musicais em um ambiente de concerto ou de criação artística que permitiria, por exemplo, a participação do público nestes processos, tanto de maneira presencial, por meio de uma rede local, quanto remoto, por meio da Internet. Neste trabalho trazemos algumas discussões sobre a IoMusT e também suas possibilidades e desafios.

## 1. Introdução

O termo Internet das Coisas ou do inglês *IoT - Internet of Things* foi popularizado em 1999, mas desde os anos 80 que o tema era abordado pela União Europeia [1]. Seguindo a descrição da IEEE, a Internet das Coisas pode ser definida como uma rede de itens, incorporada com sensores que podem ser conectados à Internet. Esta definição pode ser aprofundada ao abranger uma numerosa quantidade de objetos e dispositivos conectados diretamente um ao outro ou conectados pela rede, utilizando uma identificação única para cada elemento e operando de maneira inteligente (sem a interferência dos usuários), fazendo com que troquem e processem informações de qualquer lugar do mundo e em qualquer hora.

Para uma melhor percepção, a Internet das Coisas pode ser vista como um segmento da internet, conectando dispositivos (coisas) heterogêneos. As “coisas”, no que lhe concerne, são definidas como conjuntos de tecnologias e objetos em sistemas embarcados que possibilitam a comunicação, viabilizando a interação entre diversos elementos pela rede.

## 2. Internet das Coisas Musicais (IoMusT)

A Internet das Coisas Musicais ainda é um assunto desafiador e, com o avanço da Internet das Coisas, este cenário também tem ganhado atenção e tem gerado diversas discussões [2]. Este campo é descrito como “conjunto de interfaces, protocolos e representações de informações relacionadas à música que permitem serviços e aplicativos que atendem a um propósito musical com base nas interações entre seres humanos e coisas musicais ou entre as próprias coisas musicais, no domínio físico e/ou digital” [3]. Neste contexto, uma “coisa” pode ser definida como “um dispositivo de computação capaz de detectar, adquirir, processar

ou atuar e trocar dados que atendam a um propósito musical”.

De forma geral, a Internet das Coisas Musicais pode ser vista como um caso particular da Internet das Coisas aplicada ao contexto musical. Neste modelo, diversos componentes conectados podem interagir entre si, bem como pessoas com coisas musicais, objetos musicais com outros objetos musicais e etc. Além disso, artistas e membros da audiência podem participar através de ambientes locais e/ou remotos.

Possíveis cenários de emprego para Internet das Coisas Musicais passam pela gravação remota em estúdios, utilizando ferramentas de acompanhamento e integração com elementos presentes em outros locais de gravação, permitindo que esta ação seja compartilhada, aceitando inclusive que instrumentos e acessórios necessários para produção de conteúdo musical estejam distribuídos geograficamente [4]. Ainda, pode ser utilizada em mixagens de áudio ao vivo através da rede, possibilitando a participação em tempo real no espetáculo, e finalmente, proporcionar novas experiências para sessões de improviso (*jam sessions*), comportando instrumentos eletroacústicos e coisas musicais [4].

## 3. O Ecossistema da IoMusT

A infraestrutura da Internet das Coisas Musicais deve conseguir comportar um ecossistema heterogêneo de dispositivos, assim como a interação dos músicos com o público em tempo de real, a uma baixa latência, alta confiabilidade e excelente sincronismo, seja no ambiente local ou remoto [5, 6].

Como exemplo, cita-se a interação do público com elementos gráficos e sonoros, manipulando-os através de *smartphones*, o que gera um ambiente de realidade interativa. Existe também a possibilidade de abarcar a realidade virtual em 360°, onde membros da audiência podem ser posicionados no centro de um palco em um festival ou no meio de uma orquestra de música erudita [7, 8].

Para exemplificar melhor este ecossistema, podemos considerar sua integração em três grupos tecnológicos:

**Coisas Musicais:** na abordagem da IoMusT, crescem novas tendências relacionadas a dispositivos musicais inteligentes com sensores e atuadores capazes de conectar-se a

Internet e que poderão impactar a relação entre espectadores e artistas/músicos, alcançando os desafios como sincronismo e interoperabilidade. As coisas musicais podem ser usadas para reprodução de conteúdo musical, aprendizagem de experiências relacionadas a música e controle dos demais objetos conectados à rede. Elas são exemplificadas na figura de instrumentos ou dispositivos inteligentes, ou ainda, qualquer outro elemento que esteja na rede e que seja utilizado para controlar, gerar, rastrear ou processar conteúdo musical.

**Conectividade:** através da infraestrutura de redes locais e remotas, as coisas musicais mantêm sua comunicação, seja em rede sem fio ou cabeada, através dos recursos de *hardware* e *software* disponíveis neste tipo de ambiente, bem como as tecnologias e protocolos de comunicação. A comunicação é crucial na Internet das Coisas Musicais, tendo como requisitos importantes o sincronismo, conectividade em tempo real, comunicações com baixa latência, alta confiabilidade, segurança e qualidade, características primordiais, principalmente em apresentações com interações ao vivo, com uso de realidade virtual e/ou aumentada [3].

**Aplicativos e serviços:** os aplicativos auxiliam a interatividade entre os objetos e humanos, provendo diversos recursos e serviços para os usuários e músicos [3]. Quando aplicados à Internet das Coisas Musicais, eles geram serviços com uma direção totalmente ampliada, possibilitando o alcance de cenários de grandes escalas, como, por exemplo, participações em ambientes *online* com *interfaces* virtuais, possibilitando que centenas ou milhares de participantes sintam proximidade uns com os outros, como se estivessem participando *in loco* do evento. Outro serviço plausível de ocorrer é a partilha de recursos presentes em objetos e em instrumentos musicais inteligentes, bem como o controle sobre a iluminação, sugestões de conteúdo ou ritmo musical, que com a coleta e análise das informações, novas experiências podem ser criadas ou melhoradas [3].

#### 4. As possibilidades da IoMusT

Algumas possibilidades de interações podem ser proporcionadas pela Internet das Coisas Musicais, por meio dos diversos cenários participativos co-localizados em uma sala, evento ou *show*, ou ainda em cenários abertos reunindo diversos participantes em um ambiente totalmente virtual. Quando combinado a outras tecnologias, como a realidade virtual e realidade aumentada, o dinamismo de criação, experiência e aprendizagem musical se expande, permitindo ao público uma participação mais próxima, com a sensação de estar ao vivo no evento ou participando diretamente com os músicos na apresentação, ou concerto. Por meio dos recursos oferecido pela realidade aumentada, as performances interativas e participativas em concertos, por exemplo, podem ser aprimorados com experiências entre a participação da plateia e dos músicos em ambientes virtuais envolvendo dispositivos interativos.

A Internet das Coisas Musicais estende os benefícios, recursos e aperfeiçoamentos entre artistas e

músicos, equipamentos, dispositivos, e o comportamento do público. Também propõe melhorias e experiências entre os fornecedores de equipamentos musicais. Como exemplos, podemos imaginar a utilização de *smartphones* para controlar o som de instrumentos musicais inteligentes, ou ainda, formas de interagir através de relógios ou pulseiras inteligentes. O público, os músicos e os dispositivos podem interagir durante um *show*, de forma que os músicos tenham um *feedback* da plateia através de capturas fisiológicas, obtendo estímulos que podem controlar o timbre dos instrumentos ou comportamento dos equipamentos de palco, como iluminação, telões, entre outros. Da mesma forma, os sons de instrumentos inteligentes podem ser enviados através de vibrações em forma de ritmos para os vestíveis inteligentes do público [5].

#### 5. Desafios da Internet das Coisas Musicais

Com o surgimento e crescimento da Internet surgiram muitas oportunidades envolvendo integração de músicas com redes, explorando domínios das apresentações musicais em redes (*Networked Music Performances* - NMPs), com criação de tecnologias de *hardware* e *software* como *codecs*, estruturas, protocolos de baixa latência para as apresentações musicais remotas, entre outras. No entanto, alguns desafios ainda estão presentes para tornar esta solução amplamente disponível. Eles são melhores debatidos a seguir.

**Protocolos de comunicação:** A infraestrutura tecnológica precisa de alguns avanços para conseguir prover comunicação entre os dispositivos e conectividade necessária para as coisas musicais. Isto engloba sensores capazes de capturar áudio e informações específicas de um emissor e um receptor que compreenda a leitura dessas informações conseguindo processá-las e respondê-las, permitindo a interação e sincronismo das coisas e dos envolvidos. Para isso, precisamos de uma rede com componentes e dispositivos que reaja com eficiência, baixa latência, confiabilidade e segurança.

Geralmente, a Internet das Coisas Musicais propõe criações e adaptações das camadas e protocolos da pilha TCP/IP. Podemos utilizar, como exemplo, para garantir as baixas latências na camada física, as mensagens serem essencialmente curtas podendo ocasionar restrições nas taxas de dados, mas aumentando o desempenho da comunicação. Na camada de rede, os protocolos de roteamentos precisarão ser otimizados para apresentarem menos latência, além de métodos de decisões de roteamento distribuído, capazes de minimizar o atraso da comunicação em rede. Pode ser necessário ainda novas técnicas de controle e gerenciamento baseados em otimização que deverão conseguir configurar e alocar os recursos adequados do plano de dados em diferentes domínios para criar serviços de ponta a ponta com baixa latência [5].

Nas abordagens de análise de dados devem ser implementados técnicas e ferramentas capazes de armazenar e processar grandes quantidades de dados relacionados a música, como *Big datas*, *web* semântica, ontologias, de

modo que, quando necessário e solicitada as informações, elas estejam disponíveis.

**Quebras de paradigma:** Algumas quebras de paradigmas devem ser exploradas, como: i) Meios com que os integrantes da plateia tenham interatividade diretamente com o artista/músico no palco; ii) Recursos de métodos de composição de músicas que proporcionam autonomia aos integrantes, de forma individual ou em conjunto, com diversos indivíduos, provendo sensações mútuas sem comprometer a qualidade e performance, visando a diversidade de cada indivíduo em sua percepção de sensibilidade, preferência e aptidão; iii) Mecanismos que possibilitam, criação e ensaios de músicas e *shows* de forma remota, utilizando a tecnologia para integrar cada expressão participativa, seja ela individual ou em grupos; iv) Questões relacionadas à segurança, privacidade das informações e desempenho [5].

**Desempenho:** O bom funcionamento da IoMusT é crucial para expansão de aplicativos e serviços que remodelará a forma de interação entre músicos em ambientes remotos. Para isso, é indispensável assegurar o desempenho de forma que alguns requisitos necessários para execução de áudios em redes sejam estabelecidos, como atraso de rede, qualidade de áudio, sincronização satisfatória entre os músicos, além da coleta e análise de experiências interativas. Assegurar captura e transmissão de fluxos de áudio pela Internet ainda é um desafio, pois a sincronização e o desempenho da rede podem ser comprometidas pelos atrasos de pacotes e atrasos de processamento com os músicos estando em diferentes locais geograficamente distribuídos.

**Baixa latência:** Mesmo com a conexão móvel 5G oferecendo altas taxas de transmissão de dados, a latência acaba sendo objeto de muitos estudos devido as rigorosas exigências que a Internet das Coisas Musicais apresenta em relação a este tópico, principalmente se tratando de transmissões ao vivo com interconexões de diversos instrumentos musicais.

Por outro lado, outros mercados estão estimulando a melhoria das taxas de transmissão em rede, como, por exemplo, classes emergentes de serviços, como jogos digitais, telepresença, realidade virtual, realidade aumentada e controle de missão crítica. Uma alternativa seria a utilização de estudos envolvendo “*Tactile Internet*” que operam com uso de latências bastante baixas e com atrasos de pouquíssimos milissegundos (não excedendo 5 ms), abrangendo recursos para tecnologias com frequências sem fio na faixa de 10 a 300 GHz com taxas de dados em Gb/s por segundo para distâncias curtas, tornando crucial a sua adoção nas coisas musicais [5].

Assim, baixa latência e atrasos como captura e processamento de sons, toques e notas de equipamentos musicais, transmissão das vozes dos músicos, *feedback* visual de movimentos e gestos de outros integrantes em tempo real se tornam cruciais para a Internet das Coisas Musicais. É necessário alcançar requisitos rigorosos de latências na casa de algumas dezenas de milissegundos, com limites de atraso estimados entre 20 e 30 ms, podendo

variar conforme o cenário e distância para tornar tal realidade possível [9].

**Sincronização:** A comunicação destas coisas ocorrerá, em sua maioria, em topologias remotas em locais distribuídos ou por meio da internet. De tal maneira, a sincronização acaba sendo mais um requisito fundamental a ser analisado para garantir seu desempenho satisfatório no fluxo de dados emitidos, principalmente pelos objetos e dispositivos que não compartilham o mesmo relógio. Algumas técnicas podem ser adotadas para alinhamento na transmissão dos fluxos de modo que o envio de dados de áudio, vídeo e controle possa ocorrer sem comprometer a qualidade, além do controle de perda de pacotes de rede ou para resolver o problema de tremulação de rede, evitando um pacote atingirem seu destino após o tempo de reprodução programada [9].

Para a Internet das Coisas Musicais, podem ser utilizados o controle com pacotes de áudios e/ou vídeos coesos com a data e hora, com os protocolos RTP/RTCP e NTP [10, 11]. Há algumas alternativas para sincronização dos relógios, de forma que os pacotes de controle com as informações do relógio principal possam ser anexados aos dados de *streaming* de áudio e enviados ao receptor para que os relógios sejam sincronizados. Nesta situação, enquanto a sessão estiver estabelecida, o NTP envia atualizações periódicas. Contudo, este protocolo possui atrasos consistentes em comunicações remotas, podendo comprometer a comunicação em tempo real.

A latência e a sincronização, no entanto, dependem do tipo de dado a ser compartilhado. Em comunicações que utilizam dados MIDI, por exemplo, é possível alcançar uma latência muito mais baixa que na troca de áudio [12] e é possível utilizar a sincronização de relógios MIDI, uma espécie de relógio global, onde um nó principal envia o relógio a todos os clientes e os valores são baseados na frequência de *clock* do *hardware* do nó principal [9]. Tais soluções, no entanto, precisam ser repensadas para comunicações baseadas em stream de áudio e vídeo.

**Integração e facilidade de participação:** Garantir a comunicação e interoperabilidade dos mais diversos dispositivos musicais também é um desafio, tendo em vista que não há compatibilidade total entre os instrumentos eletrônicos e não eletrônicos e entre as informações gestuais e sonoras. Alguns protocolos proprietários possibilitam essa comunicação, ao passo que outros equipamentos usam a *Interface* MIDI para transporte de mensagens [9]. No entanto, não é possível garantir que dispositivos terão compatibilidade de dados e algumas conversões poderão ser necessárias para garantir a interoperabilidade e integração.

## 6. Discussão

A IoMusT se mostra como uma área com grande potencial artístico e computacional, mas que certamente possui desafios tecnológicos que dificultam a sua implementação. Latência, sincronização, baixo consumo elétrico e outras questões se tornam parte dos obstáculos a serem ultrapassados para tornar esta tecnologia amplamente difundida e

utilizada. Pensando em como viabilizar esta tecnologia, surgem possibilidades simples que podem ser empregadas.

Uma possibilidade para criar os aparelhos que vão compor esta área é utilizar um equipamento de uso comum na IoT para a prática musical. Já existem sensores, câmeras e outros dispositivos que se conectam pela rede que poderiam ser explorados de maneiras musicais. Outra perspectiva é adaptar instrumentos, equipamentos de áudio (microfones, mesas de som, alto-falantes, etc.), unidades de efeito (pedais de guitarra e *plugins*) e ferramentas que auxiliam na apresentação (como canhões de luz) para serem usados com conexão à internet [13]. Para isso ocorrer, é desejável atribuir-lhes a capacidade de remoção ou inserção de botões de controle e sensores, de modo que os usuários possam adaptá-las para o novo ambiente que se vislumbra diante deles. Além das mudanças físicas, alterar o código de controle e o *software*, quando presentes, também pode permitir a adequação de um determinado dispositivo a um novo contexto. Ainda, algumas funcionalidades podem ser incorporadas para transformar seu uso em uma atividade coletiva.

É desejável utilizar esta tecnologia para permitir que o público tenha maior imersão nas apresentações musicais. Isso pode ser alcançado equipando-o com ferramentas como *smartphones*, etiquetas RFID e outros. Assim, a capacidade de metamorfose de elementos tradicionais para coisas musicais é ainda mais necessária, dado que o mesmo objeto estará em diferentes circunstâncias e desempenhando diversos papéis. Estes dispositivos, somados a uma capacidade de conexão por rede, munida de serviços e aplicações de cunho musical, criam um ambiente interoperável, responsável por conectar músicos e membros da audiência, o que multiplica a possibilidade de interação em espetáculos musicais.

Neste ponto, surgem outros desafios, que não são mais somente tecnológicos mas também artísticos, relacionando-se com tópicos como criatividade e possibilidade de criação artística em ambientes compartilhados [14]. É necessário pensar no resultado estético da utilização destes equipamentos, nas formas de criação artística coletivas, e na participação do público nestes ambientes. Tais questões, ultrapassam as questões tecnológicas e se colocam como outros desafios para esta emergente área.

## 7. Conclusão

A área de Internet of Musical Things proporciona novas perspectivas para a prática musical, mediando a interação de musicistas com seus pares ou de musicistas com membros da audiência através de diferentes recursos computacionais. Os concertos ao vivo, gravações em estúdio e aprendizado de música tendem a se beneficiar dessa nova tecnologia tão breve a mesma encontra-se disponível para isso. Este trabalho apresentou as questões envolvidas na criação de ecossistemas de Internet das coisas musicais. Estas questões envolvem diversos desafios, que passam tanto pela necessidade de desenvolvimento tecnológico quanto pela necessidade de repensar questões

artísticas de maneira a permitir a criação artística que utilize esta tecnologia. Também é possível visualizar que, como todo avanço tecnológico, o surgimento desta tecnologia poderá trazer também questões sociais e econômicas que podem se tornar desafios sobre os quais é necessário nos debruçarmos em nossas pesquisas futuras.

## 8. Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq e à CAPES(88887.486097/2020-00), PROPE/PROEX/PROA da UFSJ por financiar esta pesquisa e também a todos os membros do ALICE que contribuíram para a evolução desse trabalho.

## Referências

- [1] Talita SINGER. Tudo conectado: conceitos e representações da internet das coisas. *Simpósio em tecnologias digitais e sociabilidade*, 2:1–15, 2012.
- [2] Alexandre Silva de Almeida. *Protocolos e Aplicações para Internet das Coisas Musicais*. Dissertação (mestrado em ciência da computação), Universidade Federal de São João del-Rei, 2020.
- [3] Luca Turchet, Carlo Fischione, Georg Essl, Damián Keller, and Mathieu Barthet. Internet of musical things: Vision and challenges. *IEEE Access*, 6:61994–62017, 09 2018.
- [4] Liam Lacey. Como a internet das coisas poderia impactar composição musical, produção, 2015.
- [5] Luca Turchet, Carlo Fischione, and Mathieu Barthet. Towards the internet of musical things. *smc2017*, pages 1–8, 2017.
- [6] Plínio Martins Filho. Direitos autorais na internet. *Ciência da Informação*, 27(2), 1998.
- [7] Ricky O'Bannon. Why virtual reality and a symphony orchestra are a natural fit, 2015.
- [8] Ricky O'Bannon. Virtual reality at the orchestra, 2018.
- [9] Cristina Rottondi, Chris Chafe, Claudio Allocchio, and Augusto Sarti. An overview on networked music performance technologies. *IEEE Access*, 4:8823–8843, 2016.
- [10] John Lazzaro and John Wawrzynek. A case for network musical performance. In *Proceedings of the 11th international workshop on Network and operating systems support for digital audio and video*, pages 157–166. ACM, 2001.
- [11] George Xylomenos, Christos Tsilopoulos, Yannis Thomas, and George C Polyzos. Reduced switching delay for networked music performance. In *Packet Video Workshop (Poster Session)*, 2013.
- [12] Flávio Luiz Schiavoni, Marcelo Queiroz, and Marcelo Wanderley. Network music with medusa: A comparison of tempo alignment in existing midi apis. In *Proceedings of the Sound and Music Computing Conference*, Stockholm, Sweden, 2013.
- [13] Rômulo Vieira, Luan Luiz Gonçalves, and Flávio Luiz Schiavoni. The things of the internet of musical things: defining the difficulties to standardize the behavior of these devices. In *2020 X Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC)*, pages 1–7, 2020.
- [14] Rômulo Vieira, Mathieu Barthet, and Flávio Luiz Schiavoni. Everyday use of the internet of musical things: Intersections with ubiquitous music. In *Proceedings of the Workshop on Ubiquitous Music 2020*, pages 60–71, Porto Seguro, BA, Brasil, November 2020. Zenodo.