

**Casa de campo de materiales reutilizados en la región de la Mata
Atlántica en el Vale do Paraíba do Sul, Brasil**

Antonio Carlos Pries Devidé

Pesquisador, Doutor, APTA/SAA, Brasil.
antonio.devide@sp.gov.br

Cristina Maria de Castro

Pesquisadora, Doutora, APTA/SAA, Brasil.
cristina.castro@sp.gov.br

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue registrar el proceso intuitivo de construir una casa rural rústica con materiales reutilizados. La región está cubierta por la Mata Atlántica en un escenario de gran belleza en el Vale do Paraíba do Sul, Brasil. El proceso de construcción iniciado en marzo de 2017 tuvo una duración de dos años. Los materiales y los diferentes sistemas de construcción que se aplicaron en momentos plenos de inspiración. Buscamos llevar la exuberante naturaleza que cubre el paisaje al hogar. Elementos calientes como madera, ladrillo y tierra que se combinan con la frialdad del metal y el vidrio. En esta experiencia, cada trabajador contribuyó un poco a crear y adaptar lo que se presentó como nuevo a partir de estudios sobre bioarquitectura. Los sistemas agroforestales vinculan la biodiversidad de la Mata Atlántica con la bioarquitectura. Esta experiencia sirve de base para estudios más detallados, considerando el creciente interés por este tema en todas las partes del mundo.

PALABRAS CLAVE: Bioarquitectura; Permacultura; Pared de neumáticos; Sistemas agroforestales.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se intentó definir un modelo más sostenible de producción de alimentos, surgieron los fundamentos de la Agroecología como una ciencia transdisciplinaria que pone los conceptos y principios de la Ecología para diseñar y gestionar agroecosistemas (GLIESSMAN, 2018).

Estos principios también se han utilizado durante muchos siglos en la construcción de viviendas utilizando técnicas intuitivas de bioarquitectura que están siendo rescatadas por comunidades diversas denominadas "alternativas" en todo el mundo. La figura del bioarquitecto se debe cuidar en reconocer la función social, de permanecer receptivo a la realidad que lo rodea, de forma creativa para percibir oportunidades y conexiones con la vida (VAN LENGEN 2004).

En Australia, la Permacultura surgió como una ciencia que integró los principios interdisciplinarios de la ecología, conservación de energía, paisajismo, renovación urbana, arquitectura, agricultura y geografía, para crear espacios más equilibrados para la vida (MOLLISSON, HOLMGREN 1973).

La arquitectura rural se ha convertido en un campo de estudios para promover el ordenamiento territorial y el propio desarrollo rural sostenible vinculado al turismo y las ciencias agrarias cada vez más vinculadas a los estudios sobre el medio rural construidos con un enfoque transdisciplinario (ARGOLO FERRÃO, 2007).

Es necesario buscar un enfoque académico adecuado que valore el paisaje rural en relación a la planificación del uso de espacios con edificaciones rurales con ambientación, estimulando estudios que hagan factible la difusión del uso de materiales alternativos en procesos constructivos simplificados de fácil acceso, bajo costo, ecológicamente correcto y fácil de mantener.

2. OBJETIVOS

El objetivo de este estudio es registrar el proceso constructivo intuitivo con materiales reutilizados de una residencia rural rústica en la región de la Mata Atlántica, en el Vale do Paraíba do Sul, Brasil. Esta experiencia sirve de base para estudios más detallados sobre bioarquitectura y nuevas experiencias de sistemas construidos en todas las partes del mundo.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

Los materiales y principios de construcción son muy variables en bioarquitectura o arquitectura intuitiva, según Van Lengen (2004). La permacultura utiliza métodos que incorporan todos los elementos del entorno para la planificación y el desarrollo del sistema de construcción, por ejemplo, la trayectoria del sol y la circulación de los vientos se consideran al elegir la ubicación de la construcción, utilizando principalmente recursos locales (MOLLISSON, HOLMGREN 1973). Pero, para Holmgren (2007), existen razones que limitan la expansión del uso de materiales alternativos y la Permacultura:

- Cultura científica, reduccionista y hostil a los métodos de investigación holísticos;
- Consumismo, impulsado por un modelo de progreso equivocado;
- Las élites económicas, políticas y sociales no quieren perder su influencia en el caso de la adopción de tecnologías que otorguen autonomía local.

En las zonas rurales se encuentran disponibles diversos materiales, como piedras, madera, bambú y tierra. La madera es uno de los productos más tradicionales en la edificación rural, porque tiene alta resistencia al poco peso y es más sostenible, debido al bajo consumo energético para la producción. Para producir un metro cúbico de madera se gastan 600 MJ de energía solar, mientras que el hormigón supera 3,2 veces y el acero 390 veces el consumo energético a base de aceite, además de la relación superior, resistencia / densidad, de la madera (8.33) en comparación con concreto (0.83) y acero (3.21) (CALIL JUNIOR; DIAS, 1997).

El bambú se utiliza en proyectos estructurales, recomendando un corte muy maduro en época de frío y con luna menguante, secado de pie y sin hojas a la sombra o sumergido en agua durante cuatro semanas (VAN LENGEN 2004). En Paraty / RJ, debido a la alta humedad del aire y la abundancia de insectos en la región de la Mata Atlántica, se agregan compuestos químicos para el tratamiento del bambú por inmersión (Figura 1A), los cuales pueden ser almacenados a la sombra por un tiempo prolongado (Figura 1B), por utilizar en edificios protegidos de la lluvia (Figura 1C) o expuestos al agua, sin embargo, tratados con impermeabilización (sellador, stein o barniz) (Figura 1D).

Figura 1: Curso práctico de construcción de bambú en Ecobarrio Goura Vrindavana, Paraty-RJ



Fuente: Autor, 2019.

La tierra se ha utilizado durante miles de años en la construcción de viviendas (MOLLISSON, HOLMGREN 1973). Con el creciente interés por la bioarquitectura, la quincha, considerada la técnica constructiva tradicional en el medio rural brasileño, fue objeto de la

portada del VI Congreso de Arquitectura y Construcción con tierra en Brasil (Figura 2A). El tapial (Figura 2B) se le da la forma con la madera a la arcilla, tierra y o adobe (Figura 2C), en formas más pequeñas, son las principales técnicas de la Permacultura. Los ladrillos ecológicos, producidos por presión mecánica y sin quemarse (Figura 2D), se convirtieron en la principal vía económica en la construcción civil alternativa. Además, la tierra también se puede mezclar con cemento y arena para colocar ladrillos, volver a unir espacios y revocar paredes.

Figura 2: Quincha(A), tapiales (B), adobe (C) y ladrillo comercial ecológico (D)



Fuente: Autor, 2019.

El estudio de la arquitectura rural es importante para el desarrollo de proyectos más sostenibles en áreas rurales, en fincas, granjas, quintas y también, en el espacio urbano. En la Finca Ecológica ubicada en el asentamiento de reforma agraria Nova Esperança, en la zona periurbana de São José dos Campos-SP, se realizan esfuerzos conjuntos populares <<https://youtu.be/tPtfUIZ2pKE>> para la enseñanza práctica de la Permacultura que resultó en una clase para la enseñanza de sistemas agroforestales (SAF).

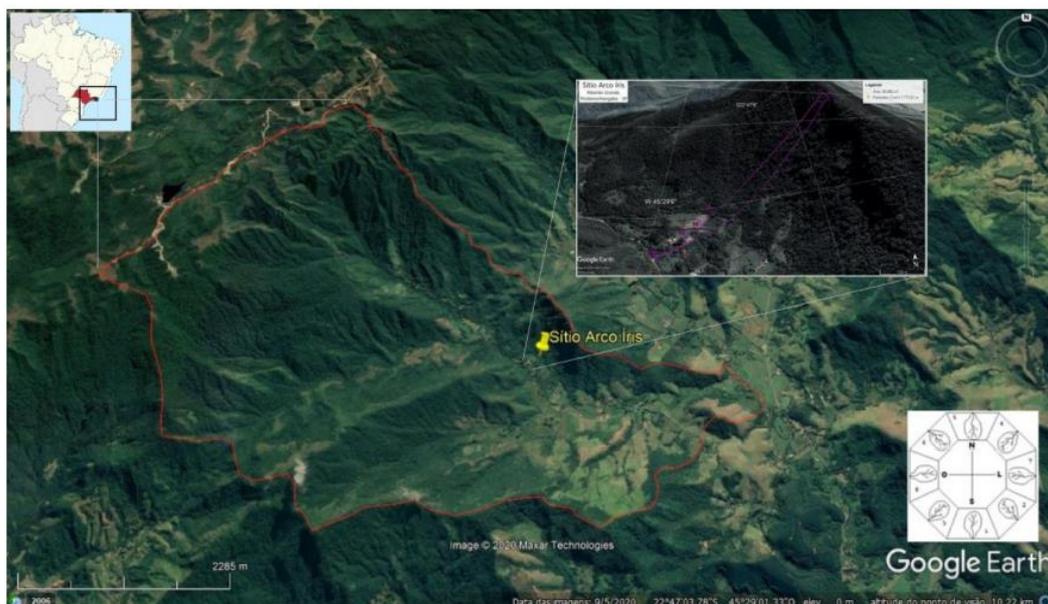
En este trabajo abordamos la construcción de una propiedad rural en la finca Arco Íris, en el barrio de Ribeirão Grande en Pindamonhangaba-SP, construida a partir de la reutilización de materiales disponibles en el Vale do Paraíba con el fin de producir una arquitectura rural integrada al paisaje capaz de reducir daños ambientales con el modelo de consumo actual.

Este espacio fue diseñado para ejercitar la comprensión de la naturaleza, los ciclos biogeoquímicos, las interacciones entre plantas, animales y sistemas climáticos cíclicos, brindando oportunidades para que las personas ejerzan la paciencia para comprender la vida de manera integral. La casa es parte de un estudio experimentado por los constructores que trabajaron en la recolección, preparación de materiales y etapas de construcción.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

Este trabajo se llevó a cabo en la quinta Arco Íris en el barrio de Ribeirão Grande en Pindamonhangaba-SP (22° 58'S y 45° 27'W). El área rural cuenta con 36.000 m² distribuidos en una estrecha franja de tierra con un ancho medio de 50 m (altitud media de 560 m), cruzada por la Ribeira das Borboleta; en la orilla opuesta el terreno es llano y adelante un cántaro alcanza la cuota más alta (960 m), terminando con un ancho de 12 m (Figura 3). La propiedad se encuentra en un área importante para la conservación de la naturaleza, con una formación rocosa conocida como Morro dos Macacos habitada por monos aulladores (*Alouatta*, familia Atelidae, subfamilia Alouattinaena) en el Área de Protección Ambiental (APA) de la Serra da Mantiqueira.

Figura 3: Ubicación de la quinta Arco Íris en la cuenca del río Ribeirão das Borboleta, barrio de Ribeirão Grande, Pindamonhangaba-SP.



Fuente: Autor, adaptado de Google Earth (2020).

El clima húmedo subtropical (Cwa) presenta un invierno seco con una temperatura inferior a 18°C y un verano caluroso con una temperatura que supera los 22°C, según la clasificación de Köppen, con una precipitación media anual de 1.200 mm en la mayor parte del municipio (CIAGRO, 2020), pero localmente se sabe que esta tasa es mucho mayor, con lluvias torrenciales en verano mientras que en invierno las noches son muy frías con frecuentes heladas.

En esta obra se registran actividades realizadas entre marzo / 2017 y diciembre / 2019 que incluyen el reconocimiento de la dinámica del paisaje (recursos hídricos, suelos, flora y fauna), la elaboración de un anteproyecto de una propiedad rural con posterior adecuación a un sistema constructivo con materiales reutilizables, operaciones de acondicionamiento de tierras y construcción de viviendas, tratamiento alternativo de efluentes e interacciones con la implementación de sistemas agroforestales ecológicos con énfasis en la restauración de los bosques ribereños. Fuente: Autor, adaptado de Google Earth (2020).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis ambiental

La cuenca del arroyo Borboleta tiene un predominio de relieve fuerte ondulado a montañoso. Las bocas de las cuencas de aire (entrada de humedad) están ubicadas en los lados noroeste y oeste de los escarpes de la Serra da Mantiqueira como una sección transversal a las corrientes de viento por donde debe pasar toda la masa de aire que ingresa a la cuenca (Figura 3), lugares donde fluyen cascadas en la formación rocosa ubicada a más de 200 m de altura.

El nivel de la Ribeira das Borboleta; afluente del Ribeirão Grande que por su nombre bautiza al principal distrito rural de Pindamonhangaba, y desemboca en el río Paraíba do Sul,

uno de los más importantes de la región sureste de Brasil; que inunda en el verano gran parte de las tierras planas marginales. Recoger los testimonios de los vecinos más antiguos fue importante para que la casa se construyera más arriba del suelo y más lejos del curso de agua debido a las repetidas inundaciones, como advierte Arbo; Schlee (2014). A pesar de la abundancia en el suministro de recursos hídricos casi todo el año, hay escasez de agua al final del invierno.

Para reforzar la recarga del acuífero se debe preservar el ecosistema forestal de ladera para proteger el suelo de la erosión, interceptar los vientos húmedos y redistribuir el agua de lluvia, interceptándola hacia el suelo más lentamente (VALCARCEL, 1987), La interceptación horizontal de la niebla condensa el vapor atmosférico en el dosel causando lluvia oculta, incluso en días sin lluvia (PEREIRA et al.2016), aumentando así la ingesta de agua que es importante para perpetuar el equilibrio hídrico de la cuenca (VALCARCEL, 1987).

La cubierta forestal está compuesta por gran parte del terreno (capoeirões) en regeneración en el tercio medio de la pendiente en transición a bosque secundario y clímax en las estribaciones del Morro dos Macacos, destacando los macizos de poblaciones de la palmera juçara (*Euterpe edulis*), especie estratégica como recurso alimenticio para la fauna.

Aún no se ha realizado la recolección del agua en el inmueble y se ha utilizado provisionalmente la cantidad de agua recolectada de la construcción vecina. En el lado opuesto del arroyo hay un ojo de agua en un afloramiento de roca en la base del Morro dos Macacos. En términos generales, la transición del uso de la tierra cafetalera (siglos XVIII-XIX) a la ganadería extensiva y el turismo debe favorecer la restauración de la cubierta forestal en la sierra, beneficiando la recarga de agua. Sin embargo, la expansión de ocupaciones veraniegas en la llanura puede ocasionar varios problemas, como caminos de acceso en zonas ribereñas con la ribera del río a través de pasajes suspendidos que favorecen a la inundación de viviendas, contaminación de los recursos hídricos por vertidos y disputas por el uso del agua. El terreno estrecho sigue el modelo de parcelación de suelo que tiene como objetivo el máximo beneficio dentro del ámbito de la legislación que permite la superficie mínima por encima de 20.000 m².

El suelo tiene características de Cambisol, aunque no se ha hecho la clasificación, considerado aluvial con mica donde predominan los racimos gruesos, a 0-40 cm de profundidad con cantos rodados y bloques de roca conocidos popularmente como canto rodado que pueden partir de la superficie o intercalados con el material grueso con poca agregación. En general, los suelos de las llanuras aluviales de los diferentes ríos de esta cuenca, son de ácidos a muy ácidos.

Los fuertes vientos vienen en dirección NO y SE que bajan de las estribaciones de la Serra da Mantiqueira y se generan a partir del encuentro con la formación rocosa o se suman a los vientos del valle vecino en el barrio de Oliveiras, generando torbellinos hacia el desfiladero de la cuenca provocando la destrucción de los tejados o protecciones de las casas y la caída de los árboles.

Casa rural

La casa de dos pisos (Figura 4) se construyó en una meseta más alta que el arroyo. El núcleo tiene forma cuadrada (10 x 10 m), subdividido en tres ambientes: dos salas de 5,0 x 5,0 m en la parte trasera y un recibidor (10 x 5 m). El anexo consta de una cocina (8,0 x 3,5 m) y un

baño (2,0 x 3,5 m). La planta superior, a la que se accede por una escalera de caracol de chatarra, tiene las mismas dimensiones que la planta baja frontal con un espacio central abierto que divide el entorno en dos zonas.

Figura 4: Casa rural de materiales reutilizados en Pindamonhangaba, Vale do Paraíba (SP).



Fuente: Lucas Lacaz Ruiz (2018); Autores (2020).

Ocupación

Ubicado en un valle cortado por el arroyo que domina la Pedra do Morro dos Macacos (amanecer) y la Serra da Mantiqueira (atardecer) (Figura 3), la elección del lugar para recibir la construcción consideró el criterio de mayor retroceso del arroyo, impacto ambiental reducido y bajo costo, mayor insolación y vistas al Monumento Natural. Si se realiza en la margen opuesta del arroyo, la ocupación requeriría licencia ambiental, la construcción de un puente, el terraplén o la construcción de la vivienda suspendida en el aire.

El anteproyecto electrónico elaborado por la arquitecta Tânia Mara Colin Brazão preveía un casa de dos pisos con un interior hueco y una amplia vista con los marcos metálicos almacenados en la propiedad de la arquitecta y asignados al proyecto.

Luego del levantamiento planimétrico con manguera nivelada, se replanteó el área y se cortó el barranco con tractor agrícola en la porción distal del terreno en relación al arroyo, formando un talud con un área de 100 m² para recibir la construcción. Una nueva operación de retroexcavadora nivela el terreno, compacta el material aguas abajo del banco y abre un pozo para la instalación de un biodigestor de tratamiento de aguas residuales. Las rocas y piedras (guijarro), abundantes en el lugar, fueron separadas manualmente y clasificadas por tamaño. En la meseta se conservó una roca más grande y posteriormente se dejó una muestra dentro de la propiedad.

El proyecto final fue influenciado por el modelo de casa de neumáticos Earthship de Mike Reynolds, presentado localmente por un ingeniero civil que había participado en el curso de bioarquitectura en Brasil, y el modelo por la arquitecta Tânia Brazão, quien recomendó el uso de estructura metálica (chatarra) dada la abundancia de este tipo de material en las empresas de reciclaje del Valle de Paraíba.

Sistema constructivo

En la construcción se utilizaron materiales alternativos disponibles en el Vale do Paraíba. La región tiene casas antiguas en deterioro que dan como resultado un suministro irregular de materiales de demolición (ladrillos, puertas, ventanas, marcos de puertas, etc.). Al mismo

tiempo, existe una fuerte industria siderúrgica y la presencia de chatarra para la venta por peso en empresas de reciclaje. La soldadura es el elemento obligatorio en el uso de estos materiales.

Pared de neumáticos

El neumático-muro 'enterrado' en el suelo, con la recogida de agua de lluvia del techo verde, es una propuesta interesante de las casas Earthship Biotecture (VILLALOBOS, 2020), considerando que en regiones tropicales con alta temperatura y humedad, la ventilación natural no satisface la demanda de aclimatación cuando el aire exterior tiene una temperatura superior a 32°C ya que el aire caliente no proporciona bienestar (LANGNER et al.2019). Una pared de neumático pesado, en estas condiciones ambientales, retrasa la penetración de la ola de calor y con un espesor considerable estabiliza la temperatura media. Es decir, en la época fría tiende a estabilizar la temperatura interior por encima del valor medio diario y en la época cálida, por debajo de ella (OLIVEIRA 2015).

La pared trasera estaba formada por llantas de desecho rellenas de arcilla y guijarros, apiladas del tamaño más grande al más pequeño cada tres capas con cuatro modelos de llantas (215 x 15; 205 x 15; 195 x 15; 185 x 15) hasta formar 12 filas de 2,30 m de altura (Figuras 5A y 5B). Se utilizó medio neumático cortado en el amarre lateral, se clavó en la pared del neumático y se llenó de tierra. Los accesorios entre neumáticos se rellenaron con pedazos de ladrillos rotos y se preparó masa del tamaño de dos carretillas de tierra, una carretilla de arena gruesa y una lata de cemento CP-III de 20 litros. Posteriormente, se retiró el suelo de la parte posterior de la pared del neumático, formando un corredor de ventilación para facilitar el mantenimiento de la madera del techo y la propia pared del neumático, para reducir el riesgo de infiltración de agua de lluvia (Figura 5C) y para agrandar la meseta frontal con el material extraído, utilizando el canto rodado en otras partes de la obra como el pavimento. El acabado se realizó sobre una lona de alambre de gallinero clavada a los neumáticos, desbastada con la misma masa añadiendo un poco más de tierra.

Figura 5: Operación de llenado de llantas de pared, quinta Arco Íris, Pindamonhangaba/SP



Fuente: modificado por Oliveira (2015) (A); Autores (2018) (B-D).

El muro de llantas tiene una mayor estabilización de temperatura diaria, disponibilidad local y bajo costo financiero (suministro + aplicación), menos de 2,9 veces adobe, 4,4 veces lodo y 6,1 veces ladrillo macizo (OLIVEIRA, 2015). Además, una construcción ecológica debe tener en cuenta la necesidad de reducir el uso de cemento, responsable de alrededor del 4,8% de las emisiones de CO2 del planeta, contabilizado únicamente por la combustión y el proceso de descarbonatación de la materia prima, como registra Oliveira (2015).

Para sostener este muro, como consecuencia de no seguir el modelo de soporte en curva recomendado por Earthship Biotecture (VILLALOBOS, 2020), se levantaron tres columnas de

amarre de hormigón armado unidas a los lados del muro neumático y al centro (internamente). Una correa de amarre de hormigón y acero cubría la última hilera de neumáticos, apuntalada con dos manos francesas de hormigón armado enterradas en el barranco (Figura 5D). La elección del aislamiento térmico y acústico combinado neumático-pared (KRUIS; HEUN, 2007), que es necesaria por la proximidad con la zona vecina y también por el interés de los constructores por reutilizar una serie de neumáticos que serían utilizados por una generación familiar. En cuanto a la toxicidad y riesgo de incendio del neumático, cuando un neumático se compacta con tierra y se aísla con una capa de yeso, representa un riesgo mínimo para los habitantes debido a la falta de capacidad de descomposición, debido a la muy baja concentración de oxígeno, baja temperatura y ausencia de contacto con agentes oxidantes (OLIVEIRA, 2015). El rendimiento medio es de 20 neumáticos compactados al día por persona.

Fundación

La cimentación estaba constituida por baldrame sobre una hilera de llantas con tierra batida, envuelta por lona plástica en un canal de contorno bajo el saliente de los muros de la propiedad. Al tratarse de un terraplén aguas arriba de un corte de barranco, se eligió una cimentación debajo de las columnas; la parte superior de llantas cortadas, en el centro un taladro de profundidad variable (2,30 m al frente del relleno sanitario, 0,80 m en el medio y 0,40 m al fondo) (Figura 6A), relleno con herrajes, hormigón y ramos (Figura 6B); placa de acero con varillas curvas (Figura 6C) hormigón en la cimentación (Figura 6D), donde se fijaron las columnas metálicas (Figura 6E). La apertura de los canales, el llenado de los neumáticos, el montaje de la caja baldrame y el hormigonado, requirieron de dos personas en cuatro días de servicio.

Figura 6: Cimentación de llantas con tierra batida con apertura de cimentación (A), placas de acero para fijación (B), balde, hormigón y estructura metálica



Fuente: Joelson Silva (2017) (A-D); Autores (2017) (E).

Estructura metálica

Las columnas se soldaron a las placas de acero unidas a los cimientos; Los pilares interiores delanteros con caja de perfil metálico 13 x 11 cm aleación 2,25 mm, y vigas H 13 x 11 cm x 2,25 mm en el resto de pilares. El perfil metálico cajón de 11 x 11 cm x 2,25 mm unía las columnas, soldado a la altura del pie derecho de 3,0 m desde la planta baja. El material metálico se fue comprando poco a poco, a peso y en piezas, en empresas de reciclaje. Un soldador hizo los cortes y enmiendas en la longitud adecuada de cada pieza. Se soldaron virutas de metal en el saliente de las columnas de madera para reforzar el soporte de la entreplanta y la estructura del techo. El servicio de soldadura requirió cinco días de servicio.

Suelo

Después de la nivelación, el relleno sanitario se revistió con plástico, estructura metálica y hormigón. El piso se terminó con cemento quemado amarillo, mosaicos hidráulicos en los umbrales de las habitaciones y en la parte central de la habitación. El piso de la cocina recibió cemento quemado natural y en el baño se colocaron pequeñas piedras, seleccionadas de la propia meseta. Dos travesaños estructurales de 30 x 8 cm x 6,0 m y dos vigas de 16 cm atornilladas a la estructura metálica soportan el piso superior con un entrepiso de 12 vigas espaciadas 50 cm cubiertas con tableros de reforestación de eucalipto.

Paredes

Los muros se levantaron con ladrillo macizo de demolición, rellenando los huecos de la estructura metálica, utilizando tierra, arena y cemento, sin tensar el hueco entre los ladrillos, con posterior colocación de puertas y ventanas de demolición.

Después de la nivelación, el relleno sanitario se revistió con plástico, estructura metálica y hormigón. El piso se terminó con cemento quemado amarillo, mosaicos hidráulicos en los umbrales de las habitaciones y en la parte central de la habitación. El piso de la cocina recibió cemento quemado natural y en el baño se colocaron pequeñas piedras, seleccionadas de la propia meseta.

Dos travesaños estructurales de 30 x 8 cm x 6,0 m y dos vigas de 16 cm atornilladas a la estructura metálica soportan el piso superior con un entrepiso de 12 vigas espaciadas 50 cm cubiertas con tableros de reforestación de eucalipto.

Techo

Inicialmente se diseñó la construcción de un techo verde. Apesar de la amplia variedad de opciones de materiales, este sistema de construcción requeriría una mayor inversión en comparación con los materiales de reutilización disponibles, mano de obra especializada y mantenimiento periódico. Al estar inmerso en la naturaleza, a diferencia de una isla de calor en el entorno urbano que justifica la inversión en tecnología verde (RIGHI et al., 2016), se optó por la cubierta convencional con la misma dirección e inclinación de 32° porque permite la recolección de agua de lluvia y el almacenamiento de la cisterna se colocarán en la parte trasera de la propiedad. El techo de la cocina está orientado al noroeste y permite capturar el sol de la tarde con paneles fotovoltaicos.

La estructura del techo fue de madera posiblemente de jatobá (*Hymenaea courbaril*) de un antiguo cortijo demolido en la región de Campinas/SP. Dos vigas transversales estructurales de 30 x 8 cm x 6,0 m sostienen enmiendas de tres líneas de vigas de 16 cm espaciadas a 3,0 m y vigas de 12 cm espaciadas 0,50 m. El techo es de madera de cedro mixto (1,50 m de largo) instalado sobre las vigas, cubierto con manta aluminizada, vigas de demolición (ipê) y baldosa cerámica natural nueva, modelo portugués. Se instalaron canalones en todas las aguas del techo para capturar el agua de lluvia. El alero es ancho con 1,0 m de ancho en todo el contorno. La carpintería de demolición tardó dos semanas en prepararse con una lijadora, quitar los clavos y tratar con Stein. La estructura y la cubierta del techo requirieron diez días para dos trabajadores.

Ventanas, puertas y basculantes

En las ventanas que se abren se utilizó madera imbuía (*Ocotea porosa*), con hojas exteriores de contraventanas portuguesas (paletas anchas) y hojas internas de vidrio; con dos hojas en los dormitorios y planta alta, y tres y cuatro hojas en el salón. Había 41 hojas de puertas y ventanas de una antigua granja demolida adquirida en un viaje casual a Pinheiral/RJ. Las puertas proceden de demolición, recogidas en un cubo en Botafogo/RJ y de la antigua sede de la finca. Frente a la casa, un portal con durmientes recibió dos puertas modelo bahía de caballos de restos de coumaru (*Dypteryx odorata*). Las ventanas y puertas se montaron sobre marcos de peroba (*Aspidosperma polyneuron*) de madera de demolición (marcos adaptados). Las puertas principales se colocaron en el centro de la pared. Las puertas del dormitorio y del baño se colocaron al revés coincidiendo con las principales aberturas exteriores para mejorar la entrada de luz natural. La disposición de las ventanas promueve la ventilación cruzada, la luminosidad de las habitaciones internas y la vista de Morro dos Macacos y Serra da Mantiqueira.

Figura 7: La simbiosis de elementos orgánicos como la madera y el ladrillo se armonizan con los elementos fríos como el metal y el vidrio llevando la naturaleza al hogar.



Fuente: Autores (2020).

En la planta baja se soldaron dos marcos metálicos (en el salón con basculante y en la cocina con puerta corredera); en el entreseso se ubicaron tres puertas venecianas, cada una de 2,20 mx 3,00 m de ancho, reciclados del propio lugar, proporcionando iluminación natural. En la estación fría, al mediodía, el ángulo de la insolación varía entre 17° y 32° (mayor penetración en el interior) y, en verano, entre 58° y 69° (menor penetración de los rayos solares) (OLIVEIRA, 2015), siendo el espacio interno del entreseso un espacio extra de luz natural. El vidrio permite un rápido calentamiento interior y evita la disipación de calor. En esta propiedad predomina la linealidad y simetría de los vanos rectangulares de ventanas y puertas en fachada para mejorar la circulación del aire. Cada marco tiene un basculante, se han instalado vitrinas y ventanas en todas las paredes, hay persianas y ventanas en las tijeras para la libre circulación del aire. Sobre cada marco, se instalaron basculadores móviles, que se abren cuando es necesario para el humo de la estufa de leña y la chimenea, así como el exceso de aire caliente.

Muro de contención de la meseta

Se instalaron neumáticos para contener la meseta, creando un muro de contención siguiendo la pendiente del suelo en la parte frontal. Con el material retirado de la parte posterior del muro de contención (pared de neumáticos) y el avance de la meseta en 2,0 m, se erigió un nuevo muro de contención en el mismo proceso. En total, se utilizaron 225 juegos de 4

neumáticos (900 neumáticos) en la casa. Los neumáticos de la zona delantera seguirán cubiertos de gaviones, piedras sobrantes de la meseta, tierra y plantas.

Tratamiento de efluentes biológicos

Los efluentes se separaron en agua de inodoro y otras aguas. El primero se trata en un biodigestor autolimpiante con una capacidad de 1300 litros enterrado en el suelo. El segundo, pasa por dos bidones de 200 litros herméticamente sellados y un respiradero de salida del biogás, lleno de anillos de bambú de la especie *Bambusa tuldoides*. Tonetti y col. (2011) registraron una remoción promedio de materia orgánica de $81,4 \pm 6,4\%$ en términos de COD, $76 \pm 12\%$ en relación a DQO y $71 \pm 15\%$ en términos de DBO a través del biofilm de microorganismos que se forma en bambú. Este efluente va a un contenedor de 1000 litros estructurado en forma de humedal en el que las plantas tolerantes al agua eliminan el exceso de fósforo y nitrógeno (REIS et al., 2018). El agua tratada sigue a través de una tubería corrugada envuelta por una manta bidim, infiltrándose en el suelo en una zona de cultivo de banano (*Musa* sp.), inhame (*Dioscorea alata*), taro (*Colocasia esculenta*), taioba (*Xanthosoma sagittifolium*) y plantas ornamentales.

Sistemas agroforestales - SAF

Los SAF son sistemas complejos que emplean una diversidad de componentes vegetales y a veces animales, en arreglos que se asemejan a la dinámica de un bosque (GLIESSMAN, 2018). Estos sistemas se introdujeron para integrar la vivienda en el paisaje y mejorar los atributos ambientales de la llanura fluvial, cubierta principalmente por lirio de los pantanos (*Hedychium coronarium*) y pasto lágrima de nuestra-señora (*Coix lacryma-jobi*). El lirio es una macrófita acuática invasora, posiblemente introducida en Brasil a través de barcos de esclavos, así como hierba exótica. Las plantas invasoras tienen efectos negativos sobre la biodiversidad (GOBIERNO DEL ESTADO DE SÃO PAULO, 2018).

En un esfuerzo conjunto organizado por la Red Agroforestal de Vale do Paraíba, se implementó un SAF con enfoque en fruticultura de especies nativas, con énfasis en la palmera juçara, cambuci (*Campomanesia phaea*), entre otros, intercalados con diversidad de bananos, arbustos (ricino – *Ricinus communis* y gandul – *Cajanus cajan*) y árboles [guapuruvú (*Shizolobium parahyba*), embaúba (*Cecropia* sp.) eritrina (*Eritryna mulungu*) ingá (*Inga* sp.) y otros] plantados para manejo de poda. Se retiraron el lirio y la hierba y se acumuló la materia orgánica entre las líneas de la siembra, posicionadas en dirección Este-Oeste. Entre los cultivos alimentarios, se eligieron especies que toleran el remojo del suelo y la sombra moderada (taioba, ñame, azafrán y arrurruz) (REDE AGROFLORESTAL DO VALE DO PARAÍBA, 2018). La explotación sustentable de juçara, enfocada a la extracción de pulpa de frutos, es un trabajo pionero en la región y sirve como estímulo para el cultivo de esta especie por parte de las poblaciones locales para insertar a estos actores en la restauración ecológica con fines productivos.

Dos eventos marcan los desequilibrios naturales que han cambiado la dinámica del paisaje. Luego de la primera limpieza de mantenimiento, con el deshierbe selectivo para el rebrote de la hierba, se produjo el ataque del jabalí, javaporco (*Sus scrofa*) durante la noche. Todos los cultivos anuales se consumieron además del daño a los bananos. Luego de este evento, los animales

comenzaron a ocupar toda el área de bosque de ribera en regeneración y se alimentaron de las plantas del filtro biológico. Estos mamíferos exóticos con hábito de enraizamiento son omnívoros, consumen todo tipo de materia orgánica vegetal y animal, y provocan un impacto negativo muy significativo en el medio ambiente y la producción agrícola (GOBIERNO DEL ESTADO DE SÃO PAULO, 2018). Es necesario promover el control de las poblaciones de jabalíes.

Otro indicador de desequilibrio ambiental fue la reducción de la población del mono bugio (*Alouatta guariba*) ya que hubo resurgimiento de la fiebre amarilla, con registros de primates muertos y la posible reducción de la población, pues los gritos de las manadas que habitaban el Morro dos Macacos se volvieron raros hasta el actual momento. Para integrar la vivienda en este paisaje se requiere de respeto a las leyes de Protección Ambiental y la participación en el proyecto de educación popular, para lo cual se destina la quinta Arco Iris.

6. CONSIDERACIONES FINALES

La bioarquitectura es una área amplia que involucra un conjunto de técnicas de permacultura sustentable y busca el manejo integrado en microcuencas, bosques naturales y recursos hídricos, seres vivos, campos de cultivo y pastos (ARGOLO FERRÃO 2007) para promover el desarrollo sustentable.

Construir una casa rural con materiales reutilizados requiere de la paciencia y creatividad del constructor para adaptar el proyecto a la irregular oferta de materiales.

La diversidad de materiales disponibles en las empresas de reciclaje es muy grande en el corredor Río - São Paulo. En este proyecto, los metales destacaron por su oferta y facilidad de manejo. El uso de neumáticos en la construcción de muros y muros de contención redujo el costo del material, pero requirió resistencia física para compactar el suelo en el interior y requiere un cuidado especial en el revestimiento para evitar la exposición al aire, el contacto con productos corrosivos y el riesgo de incendio.

El estudio del medio ambiente muestra que la región es muy rica en biodiversidad, pero sufre transformaciones socioeconómicas que pueden generar daños ambientales, ya sea por la competencia por los recursos hídricos o por la ocupación de áreas ribereñas. Los problemas relacionados con las especies invasoras (plantas y animales) son típicos de las áreas perturbadas por la mano humana.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGOLLO FERRÃO, André Munhoz de. Arquitetura Rural e o espaço não-urbano. **Labor & Engenho**, Campinas [Brasil], v.1, n.1, p.89-112, 2007. Disponível em: www.conpadre.org.

BARBO, Lenora; SCHLEE, Andrey. A Arquitetura rural na área de influência do atual Distrito Federal. In: PEIXOTO, Elane Ribeiro; DERNTL, Maria Fernanda; PALAZZO, Pedro Paulo; TREVISAN, Ricardo (Orgs.) *Tempos e escalas da cidade e do urbanismo: Anais...* Seminário de História da Cidade e do Urbanismo, 13ed., 2014. Brasília, DF: Universidade Brasília-Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2014.

BRAZÃO, Tânia Mara Colin. **Maquete eletrônica de casa de campo**. Taubaté, SP. 2017. Maquete eletrônica 3D)

CALIL JUNIOR, Carlito; DIAS, Antonio Alves. Utilização da Madeira em Construções Rurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 1: 71-77, 1997.

CIIAGRO – 2020. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/>

GLIESSMAN, Stephen. Defining Agroecology. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 42, n. 6, p. 599-600, 2018.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE. **1º Relatório Grupo Técnico sobre Espécies Exóticas com Potencial de Invasão**. Resolução Conjunta SMA/SAA/SS 01, de 15/10/2012, 2013. 53p.

HOLMGREN, David. **Os Fundamentos da Permacultura**. Trad. Piergili, A. Van P., Freitas, A.R. Grupo Timbó, 2007. 26p.

KRUIS, Nathanael J.; HEUN, Mttthew K. Analysis of the performance of Eathship housing in various global climates. **Proceedings of ES2007 Energy Sustainability**, Long Beach, California, 27-30, 2007.

LANGNER, Marcelo; SACHT, Helenice Maria; SOARES, Thais Aline. The Usage of Ground-Coupled Heat Exchangers in Subtropical Climates. **CLIMA 2019 Congress**, E3S Web of Conferences, v. 111: 06022, 6p., 2019.

MOLLISON Bill, HOLMGREN David. **Permacultura Um**. Uma Agricultura Permanente nas Comunidades em Geral. Trad. Lima, N P. Ed. Ground: São Paulo (SP), 1981. 147p.

OLIVEIRA, F. C. L. **Parede-Pneu: Uma Técnica Construtiva para a Arquitetura Solar Passiva em Portugal (Projeto para uma Pousada da Juventude em Salreu)**. Dissertação de Mestrado Integrado em Arqutitectura apresentada ao Departamento de Arquitectura da FCTUC em Julho de 2015. 237p.

PEREIRA, Carlos Rodrigues; VALCARCEL, Ricardo; BARBOSA, Rafael Silva. Quantificação da chuva oculta na Serra do Mar, Estado do Rio de Janeiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p. 1061-1073, 2016.

REDE AGROFLORESTAL DO VALE DO PARAÍBA. **Sítio no Ribeirão Grande, Pindamonhangaba – SP**. 20/12/2018. Disponível em: <http://redeagroflorestalvaledoparaiba.blogspot.com/2019/04/>

REIS, Daniela Cunha et al. **Manual de iniciação em bioconstrução**. Ubatuba: IPEMA – Instituto de Ecovilas e Permacultura da Mata Atlântica, 2018. 35p.

RIGHI, Débora Pedroso; KÖHLER, Lucas Guilherme; LIMA, Rogério Cattelan Antochaves de; SANTOS NETO, Almir Barros da S.; MOHAMAD, Gihad. Cobertura Verde: Um Uso Sustentável na Construção Civil. **MIX Sustentável**, v. 2, n. 2, p. 29-36, 2016.

TONETTI, Adriano Luiz et al. Avaliação da partida e operação de filtros anaeróbios tendo bambu como material de recheio. **Eng Sanit Ambient**, v.16, n.1: 11-17, 2011.

VALCARCEL, Ricardo (coord.). **Diagnóstico Conservacionista do Sistema Light-Cedae**. UFRRJ - Seropédica, RJ. 1987. 264p.

VAN LENGEN, Johan. **Manual do Arquiteto Descalço**. Livraria do Arquiteto: 2004. 359p.

VILLALOBOS, Gabriela. Earthship Architecture in Punta Cana. **Journal of Undergraduate Research**, v. 21, n. 2, 2020.